



不同品种(系)榛子坚果表型性状差异性 分析及其综合评价

马 仲, 张赞齐, 白 倩, 温 玥, 苏淑钗*

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘 要: 该研究以目前主栽的平榛、毛榛及 25 个平欧杂种榛品种(系)的坚果为研究对象, 测定了不同品种(系)榛子坚果的 17 个表型性状指标, 用方差分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析方法对其进行差异性分析和综合评价, 为国内榛树品种(系)的选优、开发及加工利用提供科学依据。结果表明: (1) 不同品种(系)榛子坚果的 17 个表型性状指标存在显著差异, 其中果壳质量、坚果体积和坚果质量差异最为明显, 变异系数分别为 31.49%、30.44%、27.50%, 纵横径比、果形指数、伸长率、圆球度的变异系数均小于 10%。(2) 平欧杂种榛坚果的纵径、横径、侧径及坚果质量、果仁质量、出仁率等指标显著优于毛榛和平榛, 其中杂种榛的平均果仁质量(0.70~1.46 g)和出仁率(31.48%~56.12%)显著高于平榛(0.51 g、35.13%)和毛榛(0.37 g、38.12%)。(3) 榛子坚果表型性状指标间的相关性分析表明, 榛子坚果体积越大, 其质量和果仁质量也越大, 果壳越薄则出仁率更高。(4) 主成分分析结果发现, 影响榛子坚果综合得分的主要指标为坚果的纵径、横径、侧径、质量和果仁质量, 其次是果形指数、纵横径比、出仁率、果仁饱满度; 根据综合得分值, 81-7、U3、85-28、辽榛 9 号、U2、达维、辽榛 2 号、辽榛 3 号坚果的综合性状较优。

关键词: 榛子; 坚果; 表型性状; 综合评价

中图分类号: Q944.3; S664.4 **文献标志码:** A

Analysis of Phenotypic Trait Differences and Synthetical Evaluation of Nut of Different Hazelnut Varieties (Lines)

MA Zhong, ZHANG Yunqi, BAI Qian, WEN Yue, SU Shuchai*

(Beijing Forestry University, College of Forestry, Beijing 100083, China)

Abstract: We used *Corylus heterophylla* Fisch., *C. mandshurica* Maxim. et Rupr. and 25 *C. heterophylla* Fisch. × *C. avellana* L. strains with good growth, resistance and yield as materials to analyze the appearance quality. 17 appearance quality indexes such as nut length, nut width, nut weight, kernel weight, shell thickness, kernel percent, shell weight, shape index, elongation, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, sphericity, aspect ratio, surface area, volume, filling index were measured and analyzed. The appearance quality characteristics of the hazelnut strains were comprehensively evaluated by means of analysis of variance, correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis. The analysis of nut quality is of great significance for the cultivation and screening of hazelnut strains, and which provides a scientific basis for the variety selection, development, processing and utilization of domestic strains of hazelnut. The results showed that: (1) the differences in 17 appearance quality indexes of

收稿日期: 2022-06-08; 修改稿收到日期: 2023-02-09

基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2019FY10083)

作者简介: 马 仲(1988—), 男, 在读博士研究生, 主要从事经济林研究。E-mail: 364784670@qq.com

* 通信作者: 苏淑钗, 教授, 博士生导师, 主要从事经济林研究。E-mail: sushuchai@sohu.com

different hazelnut strains showed significant levels. There were obvious differences in shell weight, volume and nut weight, variability coefficient of which were 31.49%, 30.44%, 27.50%, respectively. The variability coefficients of aspect ratio, shape index, elongation, sphericity were below 10%. (2) The nut length, width, thickness, nut weight, kernel weight, kernel percent of *C. heterophylla* Fisch. × *C. avellana* L. strains were better than that of *C. heterophylla* Fisch., *C. mandshurica* Maxim. et Rupr. The kernel weight and kernel percent of *C. heterophylla* Fisch. × *C. avellana* L. strains were 0.70—1.46 g, 31.48%—56.12%, respectively, which were significantly higher than that of *C. heterophylla* Fisch. (0.51 g and 35.13%), *C. mandshurica* Maxim. et Rupr. (0.37 g and 38.12%). (3) Results of correlation analysis showed that the larger the volume of nut, the greater its nut weight and the kernel weight. The thinner the shell, the higher the kernel percent. (4) Principal component analysis showed that the main indexes affecting the comprehensive score of nuts were length, width, thickness, nut weight, kernel weight, followed by shape index, aspect ratio, percent kernel and filling index. According to the comprehensive scores, the comprehensive characters of nuts of 81-7, U3, 85-28, Liaozhen 9, U2, Dawei, Liaozhen 2 and Liaozhen 3 were better.

Key words: hazelnut; nut; phenotypic traits; comprehensive evaluation

榛子(Hazelnut)为榛科(Corylaceae)榛属(*Corylus*)植物,是世界四大坚果之一,全世界约有16种,中国有10种,目前国内主要栽培和食用的有平榛(*C. heterophylla* Fisch.)、毛榛(*C. mandshurica* Maxim. et Rupr.)和平欧杂种榛(*C. heterophylla* Fisch. × *C. avellana* L.)^[1],其中平榛分布面积最广,产量最多,占榛树资源总量的95%;毛榛种植面积和产量都最小,但是果香浓郁,在内蒙古东部、黑龙江和吉林榛子市场占有一定比例^[2];杂种榛从2000年从辽宁兴起,截至2020年全国杂种榛已在二十多个省区种植,面积约96 700 hm²^[3]。榛树是重要的经济林树种之一,榛仁营养丰富,油脂含量平均为56.36%,其中88.65%以上都是对人体有益的不饱和脂肪酸^[4],可降低血液中的胆固醇,还可以提高脑细胞的活性,增强记忆能力和思维能力,除此之外榛仁中的膳食纤维、各类维生素及人体所必需的矿质元素含量丰富^[5]。除食用外,榛树果壳是制作高级活性炭吸附重金属的优质材料,榛树修剪的剩余物可用于改良土壤^[6]。因此,榛子坚果果仁不仅仅是人们喜爱的坚果食材,而果壳同时被广泛应用于吸附重金属的原材料,其使用价值重大,应当被关注和开发榛子潜在价值。目前,中国榛子产业主要存在以下问题,中国榛子产业发展一方面虽然资源丰富,但多数处于野生状态,开发利用率极低;另一方面中国杂种榛栽培品种(系)繁多,辽宁省经济林研究所从1980年到1999年共选育出了61个抗寒优质高产的平欧杂种榛品种(系)^[1],2006年至2013年又审定了辽榛1号到9号系列品种^[7-8],近年来又推出了秋香^[9]、晚香^[10]、先达1号^[11]、晋榛

2号^[12]、新榛1号^[13]等品种。因此,面对中国众多不同榛子品种和品系,如何科学地评价榛树坚果的品质是当下必须解决的关键技术问题和科学问题,因此对丰富的杂种榛品种(系)进行坚果表型性状的分析对于榛子品种(系)的培育和筛选具有重要意义,坚果表型性状的评价是坚果品质评价的重要内容,也是筛选和培育优秀品种(系)的重要依据^[14]。

目前,对于杂种榛品种(系)的差异分析主要集中在引种表现^[15]、抗性评价^[16-17]和生长发育^[18],杂种榛坚果的经济性状^[19]、表型性状^[20]和加工性能^[21]也有研究,但涉及的坚果表型性状指标及榛树品种(系)较少,并且关于野生毛榛、平榛的相关研究鲜有报道。本研究以当下主要食用的生长、抗性、产量表现良好的25个平欧杂种榛品种(系)和野生平榛、毛榛的坚果为研究对象,通过对其17个表型性状指标,用方差分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析方法对其进行差异性分析和综合评价,为榛子品种(系)育种、栽培及坚果开发利用提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验共采集平榛、毛榛和25个平欧杂种榛品种(系)的坚果作为试验材料,平榛(PZ)采自辽宁省铁岭市龙山乡政府黄金沟(N 42°16'39", E 123°53'49"),毛榛(MZ)采自黑龙江省伊春市小兴安岭地区(N 47°44'45", E 128°54'25"),25个平欧杂种榛品种(系)采自辽宁省经济林研究所瓦房店市炮台镇的平欧杂种榛基地(N 39°25'35", E 127°29'14"),其中82-4(薄壳红)、82-8(魁香)、84-254(达维)、84-310

(玉坠)、84-349(辽榛 1 号)、82-11(辽榛 7 号)、84-524(辽榛 2 号)、84-226(辽榛 3 号)、84-69(辽榛 9 号)、B21(辽榛 21 号)为已审定品种,81-19、81-7、83-32、83-33、84-1、84-504、84-545、85-127、85-28、B-9、82-15、U1、U2、U3、U4 为培育的杂种榛优良无性系。

2020 年 8 月下旬到 9 月中旬对树龄为 5~6 a,已达到果实丰产期的试验品种(系)进行采样,其中平榛和毛榛为种子繁殖,杂种榛为直立压条繁殖的无性系植株,行间距 2 m×3 m。分别从每个榛子品种(系)树势相同 6 棵榛树上采摘自然成熟榛果 500 g,将采回的榛子按品种(系)混匀,放在通风处自然晾干(含水量 8%)待测,每个榛子品种(系)按四分法选取坚果各 100 颗。

1.2 坚果表型性状调查

坚果表型性状进行测定按照辽宁经济林研究所梁维坚制定的《榛属种质资源描述符-记载项目及评价标准》^[1],用游标卡尺测量榛子的坚果纵径(length)、横径(width)、侧径(thickness),壳腰部测定果壳厚(shell thickness),精确到 0.01 mm,用千分之一天平测量榛子坚果质量(nut weight)、果仁质量(kernel weight)和果壳质量(shell weight)。依据公式计算出仁率(percent kernel)、果形指数(shape index)、伸长率(elongation)、算术平均直径(arithmetic mean diameter)、几何平均直径(geometric mean diameter)、圆球度(sphericity)、横纵比

(aspect ratio)、坚果体积(volume)、坚果饱满指数(filling index)、坚果表面积(surface area)和变异系数(coefficient of variation)。计算公式如下:

出仁率=果仁质量/坚果质量×100%^[22] (1)

果形指数=(横径+纵径)/(2×侧径)^[23] (2)

伸长率=坚果长轴长度/坚果短轴长度^[24] (3)

算术平均直径/mm=(纵径+横径+侧径)/3^[25] (4)

几何平均直径/mm= $\sqrt[3]{\text{纵径} \times \text{横径} \times \text{侧径}}$ ^[25] (5)

圆球度=几何平均直径/纵径^[25] (6)

横纵比=横径/纵径^[26] (7)

坚果体积/cm³= $\pi \times (\text{纵径} \times \text{横径} \times \text{侧径})/6$ ^[25] (8)

坚果饱满指数=果仁质量/(体积×100)^[25] (9)

坚果表面积/cm²= $\pi \times (\text{几何平均直径})^2$ ^[27] (10)

变异系数=标准差/平均值 (11)

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据统计与变异系数计算,SPSS 25.0 软件进行方差分析(LSD 法差异显著性检验,可靠性 95%)、聚类分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 平榛、毛榛和杂种榛坚果表型性状差异性分析

对平榛、毛榛和 25 个杂种榛品种(系)坚果纵径、侧径、横径、坚果质量、果仁质量、果形指数、伸长

表 1 榛子坚果表型性状指标方差分析
Table 1 Analysis of variance for phenotypic traits of hazelnut

性状 Trait	自由度 Degree of freedom	平方和 Quadratic sum	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
纵径 Length/mm	26	9 730.47	374.249	280.805	0
侧径 Thickness/mm	26	5 485.319	210.974	114.88	0
横径 Width/mm	26	4 952.449	190.479	166.643	0
坚果质量 Nut weight/g	26	593.217	22.816	132.929	0
果仁质量 Kernel weight/g	26	74.543	2.867	79.982	0
果壳厚 Shell thickness/mm	26	100.805	3.877	55.402	0
果壳质量 Shell weight/g	26	286.997	11.038	129.495	0
出仁率 Percent kernel/%	26	42 272.358	1 625.86	44.602	0
果形指数 Shape index	26	9.368	0.36	101.595	0
伸长率 Elongation	26	16.129	0.62	95.714	0
算术平均直径 Arithmetic mean diameter/mm	26	5 578.881	214.572	231.729	0
几何平均直径 Geometric mean diameter/mm	26	5 526.252	212.548	202.921	0
圆球度 Sphericity	26	4.426	0.17	82.232	0
横纵比 Aspect ratio	26	10.611	0.408	73.894	0
坚果表面积 Surface area/cm ²	26	6 585.648	253.294	209.732	0
坚果体积 Volume/cm ³	26	1 297.5	49.904	203.292	0
坚果饱满指数 Filling index	26	4.453	0.171	5.017	0

率等 17 个表型性状指标进行方差分析表明(表 1),不同品种(系)间表型性状指标差异显著($P<0.05$)。

经多重比较,其中辽榛 3 号的纵径最大,为 26.29 mm,其次为 U3、U2、U4 和辽榛 21 号,分别为 25.38、22.47、22.34 和 22.12 mm。杂种榛中纵径最小的是 81-19,为 17.33 mm(表 2)。平榛和毛榛纵径最小,分别为 14.17 和 13.48 mm。81-7、85-28、辽榛 2 号、平榛、毛榛的果形指数在 0.95~1.08 之间,其值越接近 1,越呈圆形果。辽榛 3 号、84-1

的伸长率最大,分别为 1.44 和 1.40,为长圆形果。27 个品种(系)榛子果壳质量、坚果体积、坚果质量和果仁质量差异最为明显,变异系数分别为 31.49%、30.44%、27.50%和 24.75%,横纵径比、果形指数、伸长率和圆球度的变异系数小于 10%,坚果纵径、侧径和横径的变异系数分别为 13.47%、11.14%和 11.35%。

对榛子坚果质量、果仁质量、出仁率及壳厚的分析(表 3)表明,81-7 的平均坚果质量为 3.58 g,达到

表 2 不同榛子品种(系)榛子坚果形状因子指标比较

Table 2 Comparison on nut shape index of different hazelnut varieties (lines)

品种(系) Genotype	纵径 Length/mm	侧径 Width/mm	横径 Thickness/mm	果形指数 Shape index	伸长率 Elongation
81-19	17.33±0.88k	15.96±2.65gh	14.18±1.18i	0.87±0.09fg	1.23±0.09de
81-7	19.50±1.07f	21.77±0.87a	20.20±0.71a	1.08±0.06a	1.11±0.05j
辽榛 7 号 Liaozhen 7	17.99±1.2j	15.91±1.3gh	14.61±1.25h	0.85±0.05g	1.24±0.08d
薄壳红 Bokehong	19.21±0.88g	16.32±0.79g	15.54±0.52g	0.83±0.03gh	1.24±0.05d
魁香 Kuixiang	20.02±0.79ef	17.94±2.47e	17.55±0.92d	0.89±0.07f	1.14±0.06f
83-32	19.75±1.17f	17.98±1.19e	15.3±0.76gh	0.85±0.06g	1.29±0.09c
83-33	19.39±1.37f	17.09±1.14f	16.44±1.03f	0.87±0.04fg	1.18±0.07e
84-1	20.42±1.36e	15.70±1.10h	14.57±1.08hi	0.74±0.03j	1.40±0.07a
达维 Dawei	21.69±0.73d	19.75±1.10c	18.54±0.85c	0.88±0.04f	1.17±0.05ef
玉坠 Yuzhui	19.10±0.94gi	15.61±1.20hi	14.95±1.29h	0.80±0.05hi	1.28±0.09c
84-504	20.16±1.22ef	16.95±0.78f	16.66±0.79ef	0.84±0.04gh	1.21±0.05de
84-545	17.88±1.61j	15.14±1.70i	14.07±1.52i	0.82±0.07h	1.28±0.09c
85-127	18.70±0.93i	18.13±1.13e	16.82±0.96ef	0.93±0.04e	1.11±0.05fg
85-28	18.21±1.13j	19.58±0.91c	18.45±1.27c	1.05±0.07b	1.07±0.09j
B9	21.60±1.02d	18.32±0.96e	17.03±0.87e	0.82±0.04h	1.27±0.07cd
辽榛 1 号 Liaozhen 1	20.46±1.41e	18.67±1.12de	16.93±1.23ef	0.87±0.05fg	1.21±0.08de
辽榛 2 号 Liaozhen 2	19.43±0.94f	20.25±1.37bc	17.93±1.12d	0.98±0.06c	1.09±0.06gi
辽榛 21 号 Liaozhen 21	22.12±1.12cd	17.82±1.16e	16.59±0.92f	0.78±0.04i	1.33±0.06b
辽榛 3 号 Liaozhen 3	26.29±1.39a	19.43±0.93cd	18.33±0.85cd	0.72±0.04k	1.44±0.08a
82-15	21.44±0.96d	18.56±0.80de	17.84±0.78d	0.85±0.03g	1.20±0.06e
辽榛 9 号 Liaozhen 9	20.84±1.26e	19.84±1.38c	18.64±1.40c	0.92±0.06e	1.12±0.07fg
U1	22.11±1.08cd	18.98±1.32d	17.94±1.36d	0.84±0.06gh	1.24±0.11d
U2	22.47±1.09c	19.56±1.02c	18.38±0.91c	0.85±0.04g	1.22±0.08de
U3	25.38±1.47b	20.41±1.53b	19.30±1.07b	0.78±0.05i	1.32±0.09bc
U4	22.34±1.02cd	18.35±0.89e	16.89±0.83ef	0.79±0.04i	1.32±0.07bc
毛榛 Maozhen	13.48±1.19l	13.14±1.04j	12.26±1.11j	0.95±0.11de	1.11±0.14g
平榛 Pingzhen	14.17±1.42l	14.18±2.30j	13.30±1.50j	0.98±0.13d	1.07±0.12i
变异系数 Coefficient of variation	13.47%	11.14%	11.35%	9.50%	7.73%

注:不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$, LSD 检验),下同

Notes: Different normal letters indicated significant difference in multiple comparison, the same as below

了榛子分级标准^[1]中所定的特大坚果级别(坚果质量>3.5 g), U2、辽榛 3 号、达维、U3、U1、辽榛 9 号、85-28、辽榛 1 号、辽榛 2 号、82-15、魁香、B9 和 U4 等 14 个品种(系)的坚果质量在 2.51~3.50 g 为大型坚果。按照果仁质量的评价标准 81-7 果仁最大,为 1.46 g,辽榛 3 号、U3、U2 果仁质量在 1.20 g 以上,都是特大果,辽榛 2 号、达维、辽榛 9 号、辽榛 7 号、85-28、B9 的果仁质量都在 1 g 以上,为大果仁,其余在 0.70~0.99 g 之间,为较大果仁。平榛和毛榛仁质量最小,分别为 0.51 和 0.37 g,为小果仁。81-19、辽榛 7 号、84-1、84-545 果壳厚度小于 1

mm,为薄果壳,有利于带壳售卖。

对榛子坚果算术和几何平均直径、圆球度、纵横径比、表面积、体积、饱满指数差异显著性分析(表 4)表明,U3、辽榛 3 号、81-7、U2 和达维的算术和几何平均直径都在 20 mm 以上,最小的是平榛和毛榛,分别为 13.89 和 12.96 mm。杂种榛坚果表面积和体积分别在 7.72~14.59 cm² 和 2.04~5.26 cm³ 之间,毛榛、平榛表面积和体积较小,分别为 5.26 和 6.05 cm² 以及 1.14 和 1.42 cm³,杂种榛坚果的直径、表面积和体积显著大于毛榛和平榛。坚果的形状主要是由其圆球度决定的,圆球度是立方体

表 3 不同榛子品种(系)榛子坚果经济性状指标比较

Table 3 Comparison on nut economic traits of different hazelnut varieties (lines)

品种(系) Genotype	坚果质量 Nut weight/g	果仁质量 Kernel weight/g	果壳质量 Shell weight/g	出仁率 Percent kernel/%	果壳厚 Shell thickness/mm
81-19	1.53±0.27ij	0.85±0.16e	0.68±0.19f	56.12±7.98a	0.86±0.17h
81-7	3.58±0.34a	1.46±0.14a	2.12±0.24ab	40.81±2.39f	1.78±0.18bc
辽榛 7 号 Liaozhen 7	1.63±0.35i	0.70±0.17f	0.94±0.22e	43.21±9.85e	0.96±0.15g
薄壳红 Bokehong	2.1±0.25fg	0.97±0.16de	1.13±0.14de	46.03±6.06d	1.34±0.18ef
魁香 Kuixiang	2.63±0.33d	0.91±0.18e	1.72±0.24bc	34.57±5.82hi	1.71±0.14c
83-32	2.36±0.39ef	0.91±0.15e	1.44±0.30cd	39.01±4.92fg	1.53±0.22de
83-33	2.3±0.49ef	0.97±0.20de	1.33±0.32de	42.41±4.13ef	1.38±0.19e
84-1	1.65±0.43i	0.77±0.25f	0.89±0.22ef	45.87±7.04d	0.99±0.14g
达维 Dawei	3.17±0.36b	1.16±0.16c	2.01±0.27ab	36.68±3.64gh	1.58±0.21d
玉坠 Yuzhui	1.85±0.32h	0.85±0.11e	1.00±0.24e	46.54±8.04c	1.27±0.25f
84-504	2.08±0.44g	0.70±0.24f	1.38±0.25d	32.90±7.42i	1.39±0.12e
84-545	1.43±0.40j	0.73±0.20f	0.70±0.25f	51.62±8.43b	0.93±0.19g
85-127	2.24±0.41f	0.95±0.19de	1.29±0.25de	42.27±3.86ef	1.24±0.18f
85-28	2.86±0.48cd	1.01±0.26d	1.86±0.29b	34.70±6.10hi	1.77±0.9bc
B9	2.62±0.34d	1.00±0.13d	1.62±0.25c	38.13±3.23g	1.55±0.19d
辽榛 1 号 Liaozhen 1	2.73±0.51d	0.98±0.20de	1.75±0.36bc	35.87±4.13gh	1.58±0.17d
辽榛 2 号 Liaozhen 2	2.73±0.49d	1.17±0.19c	1.55±0.36cd	43.41±4.45e	1.37±0.16ef
辽榛 21 号 Liaozhen 21	2.44±0.44e	0.85±0.31e	1.60±0.31c	34.08±10.2hi	1.54±0.21de
辽榛 3 号 Liaozhen 3	3.21±0.49b	1.35±0.26b	1.87±0.3b	41.83±4.89ef	1.36±0.14ef
82-15	2.72±0.27d	1.01±0.13d	1.71±0.28bc	37.23±4.00gh	1.72±0.19bc
辽榛 9 号 Liaozhen 9	2.96±0.65c	1.14±0.19c	1.82±0.51b	39.68±8.53fg	1.53±0.23de
U1	3.09±0.55bc	0.97±0.19de	2.12±0.43ab	31.48±4.27i	1.93±0.25a
U2	3.43±0.55a	1.21±0.21c	2.22±0.40a	35.34±4.98h	1.81±0.25b
U3	3.17±0.48b	1.28±0.19bc	1.89±0.34ab	40.48±3.36fg	1.33±0.18ef
U4	2.58±0.27de	0.99±0.12d	1.59±0.24cd	38.79±5.1fg	1.44±0.16e
毛榛 Maozhen	1.06±0.15k	0.37±0.07h	0.69±0.16f	38.12±5.41g	1.69±0.28c
平榛 Pingzhen	1.35±0.34j	0.51±0.14g	0.84±0.24ef	35.13±5.17hi	1.55±0.41d
变异系数 Coefficient of variation	27.50%	24.75%	31.49%	14.01%	18.97%

表 4 不同榛子品种(系)榛子坚果加工性能指标比较

Table 4 Comparison on nut processing traits of different hazelnut varieties (lines)

品种(系) Genotype	算术平均直径 Arithmetic mean diameter/mm	几何平均直径 Geometric mean diameter/mm	圆球度 Sphericity	横纵径比 Aspect ratio	表面积 Surface area/cm ²	体积 Volume/cm ³	饱满指数 Filling index
81-19	15.83±1.24ij	15.68±1.58a	0.91±0.08fg	0.92±0.15f	7.80±1.37k	2.07±0.50k	0.50±0.63a
81-7	20.49±0.66b	20.46±0.66b	1.05±0.04a	1.12±0.07a	13.16±0.85c	4.50±0.43c	0.33±0.03bc
辽榛 7 号 Liaozhen 7	16.17±1.13i	16.10±1.13c	0.90±0.03g	0.88±0.05g	8.18±1.14j	2.22±0.46jk	0.32±0.07bc
薄壳红 Bokehong	17.02±0.61g	16.95±0.60cd	0.88±0.02gh	0.85±0.04h	9.03±0.64i	2.56±0.27i	0.38±0.06b
魁香 Kuixiang	18.50±1.05e	18.38±1.59d	0.92±0.08f	0.90±0.12fg	10.69±1.46g	3.31±0.57g	0.32±0.37bc
83-32	17.68±0.78f	17.57±0.77d	0.89±0.04gh	0.91±0.07fg	9.71±0.84h	2.85±0.37h	0.32±0.04bc
83-33	17.64±1.06f	17.59±1.05de	0.91±0.03fg	0.88±0.04g	9.75±1.16h	2.88±0.51h	0.34±0.05bc
84-1	16.90±1.07gh	16.71±1.06e	0.82±0.02j	0.77±0.04j	8.81±1.11ij	2.47±0.47ij	0.31±0.07c
达维 Dawei	19.99±0.74c	19.94±0.75e	0.92±0.03f	0.91±0.05fg	12.51±0.93d	4.17±0.46d	0.28±0.04cd
玉坠 Yuzhui	16.55±0.91h	16.44±0.92ef	0.86±0.04hi	0.82±0.06i	8.52±0.97j	2.35±0.41j	0.36±0.04bc
84-504	17.93±0.81f	17.85±0.8ef	0.89±0.03gh	0.84±0.05hi	10.03±0.9h	3.00±0.4h	0.23±0.07d
84-545	15.70±1.46j	15.60±1.47f	0.87±0.05h	0.85±0.08h	7.72±1.45k	2.04±0.58k	0.37±0.10bc
85-127	17.88±0.90f	17.86±0.90f	0.96±0.03e	0.97±0.05e	10.05±1.02h	3.00±0.46h	0.32±0.04bc
85-28	18.75±0.84e	18.72±0.85f	1.03±0.05b	1.08±0.06b	11.03±1.00g	3.46±0.47g	0.29±0.07cd
B9	18.98±0.77de	18.88±0.78f	0.88±0.03h	0.85±0.04h	11.22±0.92fg	3.54±0.43fg	0.28±0.04cd
辽榛 1 号 Liaozhen 1	18.69±1.10e	18.62±1.10g	0.91±0.03fg	0.92±0.05f	10.93±1.28g	3.41±0.59g	0.29±0.05cd
辽榛 2 号 Liaozhen 2	19.21±0.96de	19.17±0.96g	0.99±0.04c	1.04±0.07c	11.58±1.15f	3.72±0.55f	0.32±0.04bc
辽榛 21 号 Liaozhen 21	18.84±0.93e	18.69±0.93g	0.85±0.03i	0.81±0.05i	11.00±1.1g	3.44±0.52g	0.25±0.1cd
辽榛 3 号 Liaozhen 3	21.35±0.84a	21.07±0.82g	0.80±0.03j	0.74±0.04j	13.96±1.09b	4.91±0.57b	0.27±0.05cd
82-15	19.28±0.66d	19.21±0.66h	0.90±0.02g	0.87±0.04gh	11.61±0.79f	3.72±0.38f	0.27±0.04cd
辽榛 9 号 Liaozhen 9	19.78±1.20c	19.74±1.21hi	0.95±0.04e	0.95±0.06e	12.29±1.47de	4.07±0.72de	0.28±0.04cd
U1	19.68±1.00c	19.58±1.03j	0.89±0.04gh	0.86±0.06gh	12.08±1.25e	3.96±0.61e	0.25±0.04cd
U2	20.14±0.78bc	20.06±0.78j	0.89±0.03g	0.87±0.05gh	12.66±0.99d	4.24±0.50d	0.29±0.05cd
U3	21.70±1.05a	21.53±1.05k	0.85±0.04i	0.81±0.06i	14.59±1.43a	5.26±0.78a	0.25±0.04cd
U4	19.19±0.75de	19.05±0.75l	0.85±0.03i	0.82±0.04i	11.42±0.87fg	3.64±0.40fg	0.28±0.04cd
毛榛 Maozhen	12.96±0.68l	12.92±0.67i	0.96±0.07e	0.98±0.12de	5.26±0.54m	1.14±0.17m	0.43±0.56ab
平榛 Pingzhen	13.89±1.33k	13.79±1.60i	0.98±0.11d	1.01±0.17d	6.05±1.21l	1.42±0.39l	0.33±0.05bc
变异系数 Coefficient of variation	11.23%	11.24%	6.38%	9.92%	21.26%	30.44%	18.28%

的形状和相同体积的球体关系的表现,81-7、85-28、辽榛 2 号、平榛、毛榛、85-127、辽榛 9 号圆球度数值在 0.95~1.05 之间,这些品种(系)的坚果近似球形。伸长率是长轴和短轴的比值,也是向长圆趋向发展的主要指标,辽榛 3 号、84-1 的伸长率分别为 1.44 和 1.40,是典型的长圆果。杂种榛 81-19 和平榛的果仁饱满指数较高,分别为 0.50 和 0.43,其余品种(系)榛子坚果饱满指数在 0.38~0.23 之间,无显著差异。

2.2 不同榛子坚果表型性状指标相关性分析和聚类分析

对榛子坚果外观指标相关性的分析(表 5)表明,榛子坚果的纵径、横径、侧径、坚果质量、果仁质量、几何平均直径、算术平均直径、表面积、体积指标相互在 0.01 水平显著正相关,表明这些指标可以相互估测,坚果纵径、横径、侧径越大,则其表面积、体积、坚果质量、果仁质量也越大。出仁率与果壳厚在 0.05 水平显著负相关,相关系数为-0.495,这说明果壳厚度是影响出仁率的重要因素之一,果壳薄则出仁率高。另外,果仁饱满指数与坚果的侧径在 0.05 水平显著负相关,相关系数为-0.422,坚果侧径越小则果仁更加饱满。横纵径比与坚果的伸长率呈显著负相关,相关系数为-0.806,而与坚果圆球度和果形指数呈显著正相关,相关系数分别为 0.970 和 0.960。

用非加权平均配对的方法对杂种榛坚果性状指标进行系统聚类(图 1),当欧氏距离为 4 时,可以将其分为三类,第一类是 U3、81-7、辽榛 3 号坚果质量、体积和果仁质量最大,分别为 3.32 g、4.89 cm³、1.36 g;第二类是玉坠、84-1、辽榛 7 号、81-19、84-545、U2、达维、辽榛 9 号、U1,辽榛 2 号、82-15、85-28、U4、B9、辽榛 1 号、魁香、辽榛 21 号、85-127、83-33、83-32、84-504、薄壳红,坚果质量、体积和果仁质量次之,分别为 2.42 g、3.19 cm³、0.95 g;第三类是平榛和毛榛,坚果质量、体积和果仁质量最小,分别为 1.21 g、1.28 cm³、0.44 g。

2.3 基于主成分分析的不同品种(系)榛子坚果综合评价

主成分分析方法能解决多指标带来的信息重叠和不易得出简明规律等问题,采用该方法能将指标聚合和筛选得到综合性指标,能更好地进行评价^[28-29]。将 17 个指标的因子载荷后筛选出 3 个主成分,如表 6 所示,计算 KMO 值为 0.691>0.6,巴特利特球形检验<0.05,可以进行主成分分析。前 3 个主成分方差贡献率分别为 53.769%、27.942%、

12.039%,累积方差贡献率达到 93.75%,能够反映各性状的综合信息。17 项指标中坚果的纵径、侧径、横径、坚果质量和果仁质量、几何平均直径、算术平均直径、体积、表面积对主成分 1 的贡献最大;主成分 2 中,果形指数、横纵径比对主成分 2 的贡献最大;主成分 3 中,出仁率、果仁饱满度的贡献最大。

把主成分因子载荷向量标准化为特征向量,对主成分因子得分加权求和,计算出坚果综合性状的综合得分,得分越高,坚果综合性状越优良。如表 6 所示,对 27 个品种(系)杂种榛的坚果综合排序表明 81-7 的坚果综合性状最好,平均单坚果质量为 3.581 g,果仁质量 1.46 g,出仁率为 40.81%,而坚果综合性状最低的为毛榛,平均单坚果质量为 1.06 g,出仁率仅为 38.12%,排名最后的杂种榛为 84-545,平均单坚果质量为 1.35 g,出仁率虽然达到了 51.62%,但果仁质量为 0.733 g,是 81-7 的 50.03%。

对杂种榛主成分 PC1(53.77%)及 PC2(27.94%)分析表明(图 2),81-7 主成分因子得分最高,第二类群及第三类群具有较为相同的坚果宽度和厚度、坚果质量、果仁质量、几何平均直径、表面积和坚果体积,但是 81-7 的坚果性状较好,第二类群 U3、85-28、辽榛 9 号、U2、达维、辽榛 2 号、辽榛 3 号、U1、辽榛 7 号、辽榛 1 号、魁香、B9、U4、85-127、辽榛 21 号、84-504、83-33、83-32 次之,第三类群薄壳红、玉坠、82-15、84-1、81-19、平榛、84-545、毛榛的坚果外观性状相较于第一、二类较差。

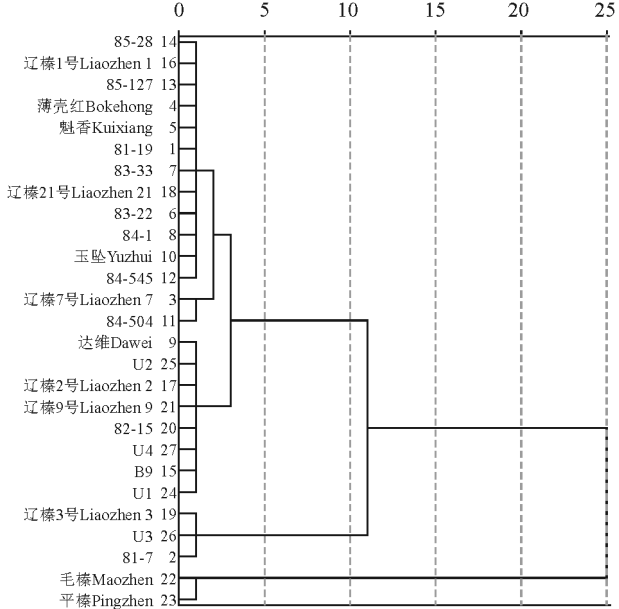


图 1 不同品种(系)榛子坚果系统聚类
Fig. 1 Clustering analysis of the main physical of different hazelnut genotypes

表 5 榛子表型性状指标相关性分析

Table 5 Estimates of the correlation coefficients among phenotypic traits of nut and kernel of hazelnut genotype

性状 Traits	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
A	1																
B	0.611 ^{**}	1															
C	0.659 ^{**}	0.865 ^{**}	1														
D	0.702 ^{**}	0.859 ^{**}	0.898 ^{**}	1													
E	0.620 ^{**}	0.722 ^{**}	0.746 ^{**}	0.858 ^{**}	1												
F	0.144	0.365	0.408	0.474	0.219	1											
G	-0.076	0.032	0.057	0.101	-0.027	0.286	1										
H	-0.173	-0.286	-0.314	-0.284	0.212	-0.495 [*]	-0.272	1									
I	-0.523 [*]	0.309	0.237	0.126	0.062	0.283	0.187	-0.15	1								
J	0.515 [*]	-0.197	-0.297	-0.125	-0.045	-0.296	-0.188	0.17	-0.931 ^{**}	1							
K	0.867 ^{**}	0.905 ^{**}	0.921 ^{**}	0.905 ^{**}	0.770 ^{**}	0.326	-0.003	-0.28	-0.038	0.056	1						
L	0.844 ^{**}	0.924 ^{**}	0.919 ^{**}	0.899 ^{**}	0.761 ^{**}	0.329	0.002	-0.286	0.014	0.029	0.996 ^{**}	1					
M	-0.502 [*]	0.339	0.235	0.127	0.059	0.276	0.185	-0.157	0.990 ^{**}	-0.904 ^{**}	-0.02	0.028	1				
N	-0.496 [*]	0.369	0.160	0.107	0.054	0.24	0.153	-0.125	0.960 ^{**}	-0.806 ^{**}	-0.03	0.017	0.970 ^{**}	1			
O	0.847 ^{**}	0.914 ^{**}	0.924 ^{**}	0.912 ^{**}	0.769 ^{**}	0.343	0.029	-0.292	-0.004	0.025	0.996 ^{**}	0.995 ^{**}	0.017	0.005	1		
P	0.842 ^{**}	0.898 ^{**}	0.917 ^{**}	0.912 ^{**}	0.768 ^{**}	0.350	0.054	-0.292	-0.005	0.022	0.986 ^{**}	0.982 ^{**}	0.011	-0.002	0.996 ^{**}	1	
Q	-0.200	-0.422 [*]	-0.196	-0.135	0.048	-0.125	-0.072	0.375	-0.140	-0.025	-0.302	-0.367	-0.256	-0.266	-0.318	-0.284	1

注:A. 纵径;B. 侧径;C. 横径;D. 坚果质量;E. 果仁质量;F. 果壳厚;G. 果壳质量;H. 出仁率;I. 果形指数;J. 伸长率;K. 算术平均直径;L. 几何平均直径;M. 圆球度;N. 横纵比;O. 坚果表面积;P. 坚果体积;Q. 坚果饱满指数;“**”与“*”分别表示在0.01和0.05水平上(双侧)显著相关;“-”表示负相关

Notes: A. Length; B. Width; C. Thickness; D. Nut weight; E. Kernel weight; F. Shell thickness; G. Shell weight; H. Percent kernel; I. Shape index; J. Elongation; K. Arithmetic mean diameter; L. Geometric mean diameter; M. Sphericity; N. Aspect ratio; O. Surface area; P. Volume; Q. Filling index; “**” and “*” indicate significant correlation at 0.01 and 0.05 levels (bilateral), respectively; “-” indicates negative significant

表 6 榛子坚果总变异特征值和主成分得分

Table 6 Eigenvalues and proportion of total variability and component scores for hazelnut

指标 Variable	主成分 Component loading			品种(系) Genotype	主成分得分 Component score			综合得分 Component score	排序 Ranking
	PC1	PC2	PC3		PC1	PC2	PC3		
纵径 Length	0.094	−0.107	−0.009	81-7	3.69	5.12	1.84	3.64	1
侧径 Thickness	0.105	0.045	0.061	U3	4.78	−2.11	1.19	2.12	2
横径 Width	0.103	0.049	0.1	85-28	1.18	4.43	0.45	1.93	3
坚果质量 Nut weight	0.106	0.036	0.02	辽榛 9 号 Liaozhen 9	2.35	1.45	0.98	1.79	4
果仁质量 Kernel weight	0.097	0.012	0.191	U2	3.31	0.15	−0.37	1.78	5
果壳厚 Shell thickness	−0.002	0.081	−0.331	达维 Dawei	2.83	0.71	0.36	1.76	6
果壳质量 Shell weight	0.053	0.116	−0.269	辽榛 2 号 Liaozhen 2	1.29	2.50	1.74	1.60	7
出仁率 Percent kernel	−0.046	−0.069	0.381	辽榛 3 号 Liaozhen 3	4.3	−3.73	0.61	1.34	8
果形指数 Shape index	−0.008	0.206	0.087	U1	2.67	0.03	−1.05	1.32	9
伸长率 Elongation	0.008	−0.204	−0.06	辽榛 7 号 Liaozhen 7	1.74	−0.03	−0.18	0.90	10
算术平均直径 Arithmetic mean diameter	0.108	−0.017	0.049	辽榛 1 号 Liaozhen 1	0.96	0.40	−0.23	0.60	11
几何平均直径 Geometric mean diameter	0.109	−0.012	0.049	魁香 Kuixiang	0.58	0.90	−0.82	0.47	12
圆球度 Sphericity	−0.008	0.206	0.083	B9	1.19	−0.95	−0.16	0.36	13
横纵比 Aspect ratio	−0.011	0.202	0.107	U4	1.34	−1.84	−0.05	0.20	14
坚果表面积 Surface area	0.109	−0.009	0.04	85-127	−0.64	1.28	1.03	0.14	15
坚果体积 Volume	0.108	−0.007	0.033	辽榛 21 号 Liaozhen 21	0.99	−1.92	−0.81	−0.10	16
坚果饱满指数 Filling index	−0.078	0.022	0.271	84-504	−0.30	−0.68	−0.51	−0.41	17
特征值 Characteristic root	9.141	4.75	2.047	83-33	−0.82	−0.09	0.19	−0.44	18
方差贡献率 Variance contribution rate/%	53.769	27.942	12.039	83-32	−0.63	−0.44	−0.43	−0.51	19
累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	53.769	81.711	93.749	薄壳红 Bokehong	−1.85	−1.03	0.02	−1.28	20
				玉坠 Yuzhui	−2.57	−1.90	−0.12	−1.93	21
				82-15	−3.17	−1.04	0.39	−1.95	22
				84-1	−2.34	−3.71	0.19	−2.27	23
				81-19	−4.49	−0.91	0.95	−2.56	24
				平榛 Pingzhen	−5.83	2.45	−1.54	−2.64	25
				84-545	−4.10	−2.00	0.72	−2.68	26
				毛榛 Maozhen	−6.46	2.95	−4.38	−3.18	27

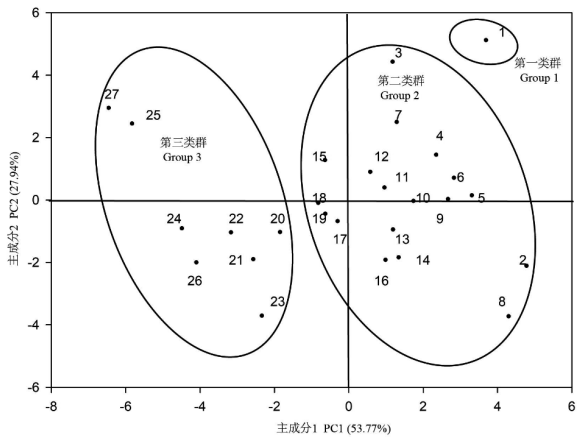


图 2 榛子坚果表型性状主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of phenotypic traits of hazelnut

3 讨 论

中国是榛子起源地之一,榛属资源丰富,中国已经培育出品种(系)众多的平欧杂种榛^[1]。本研究以中国种植面积最大的平榛,产量最少的毛榛,杂种榛的已审定品种和优良无性系为研究对象,较为全面地分析了中国榛子品种(系)坚果的表型性状。在相同种植条件下,相同榛子品种(系)内坚果表型性状变异较小,坚果形态相对稳定,而不同榛子品种(系)间坚果表型性状存在显著差异,特别是榛子果壳质量、坚果体积、坚果质量和果仁质量差异最为明显,变异系数分别为 31.49%、30.44%、27.50% 和 24.75%,这主要是由于其遗传特性决定的^[18],因此

为优化品种培育,还需对不同榛子品种(系)坚果的表型性状作进一步的比较。表型性状的差异是区分不同品种(系)的重要指标,国内外对榛子种质表型性状的研究中,也多采用榛子坚果的性状指标,如美国^[30]、欧洲^[31]、土耳其^[32]等地区榛子品种的坚果表型性状分析。本研究结果显示人工栽培杂种榛坚果体积、坚果质量、果仁质量明显优于平榛和毛榛,但野生毛榛果香浓郁,口感比杂种榛和平榛要好^[1],平榛和毛榛的抗寒能力优于杂种榛^[33],并且野生平榛、毛榛果仁中不饱和脂肪酸含量也高于杂种榛。中国野生平榛、毛榛资源丰富^[1],如果能加大对其野生榛林的管理,其品质和产量定能进一步提高。

不同品种(系)杂种榛坚果表型性状指标间有显著的相关性。本研究发现榛子坚果的纵径、横径、侧径与坚果质量、果仁质量、几何平均直径、算术平均直径、表面积、体积指标间在 0.01 水平显著正相关。出仁率除与果仁质量正相关外,与其他坚果指标都是负相关,并且与果壳厚在 0.05 水平显著负相关,相关系数为-0.495,这与马庆华等^[21]、Demchik 等^[30]、罗达等^[34]和艾吉尔·阿不拉等^[35]研究结果一致,说明坚果体积越大其质量和果仁质量也越大,果壳厚度是影响出仁率的重要因素之一,果壳厚度增加导致则坚果出仁率的降低。

目前,榛子市场上有种仁销售和带壳销售两种需求,由于市场需求的差异,需要进一步科学地评价和筛选出分别适用于专用种仁加工和带壳销售的榛子品种(系)^[29],带壳型的品种要求榛果坚果大,种仁加工型的品种要求坚果球形,易于机械脱壳,但都要求出仁率高、果仁香味浓郁或带甜味^[36]。本研究中发现 81-7、U2、辽榛 3 号、U3、达维其平均单果质量都在 3 g 以上,平均单果果仁质量也在 1.16 g 以上,适合带壳销售;81-7、辽榛 2 号、85-127、辽榛 9 号坚果圆球度在 0.95~1.05 之间,果仁质量在 0.95 g 以上,适合机械加工。此外,目前榛子果壳

开发技术利用范围较广,不仅可以做为田间覆盖物控制杂草^[37]、制成栽培基质^[6]及肥料^[38]、还可以加工成活性炭对铅^[39]、铀^[40]等重金属进行吸附,出仁率不高,但果仁达到特大等级的杂种榛品系也可以做为主要栽培品种,其果壳可以进一步进行开发和利用,例如 81-7、U2、达维的平均果壳质量分别为 2.12、2.22 和 2.01 g,其平均果仁质量分别为 1.46、1.21 和 1.16 g,达到了特大等级。

中国辽宁培育了众多大果、丰产的平欧杂种榛品种(系),同时在山西、新疆等地审定了许多杂种榛新品种,但榛子果实产量完全不能满足现在的市场发展需求。根据联合国粮农组织(FAO)2020 年进出口数据,从 1986 年到 2019 年共进口榛仁 25 356 t,其中从 2008 年到 2019 年进口 19 563 t,特别是从 2015 年开始进口榛仁急剧增大,2016 到 2019 年分别进口 3 302、3 504、2 575 和 3 162 t,累积进口消费金额 16 674.3 万美元。因此,榛子产业的发展需要更加关注科学的评价和选育出适应市场需要的榛子品种,马庆华等^[21]从加工性能的角度对杂种榛的 10 项性状进行了综合评价,主要指标为出仁率、壳仁间隙和果腔系数,罗达等^[34]研究认为影响榛子坚果经济性状的主要指标为出仁率、果腔系数,有较高出仁率和果腔系数的榛果加工性能和经济性状较优。毛榛出仁率 38.12%,果仁饱满指数为 0.43,但因为果小,市场认可度不如大果的杂种榛。本研究利用主成分分析对 27 个榛子品种(系)进行综合评价,得出影响坚果综合得分的主要指标为坚果的形状因子、坚果质量和果仁质量,其次是果形指数、横纵径比、出仁率和果仁饱满度,根据坚果表型性状的综合得分值,81-7、U3、85-28、辽榛 9 号、U2、达维、辽榛 2 号、辽榛 3 号坚果的综合性状较优。此外树体的产量、适应性及采收也是品种选育的重要影响因素,未来可以在坚果表型性状评价的基础上开展更多的选育工作。

参考文献:

[1] 张宇和,柳 鑾,梁维坚. 中国果树志:板栗 榛子卷[M]. 北京:中国林业出版社,2005:193-279.

[2] 侯智霞,原牡丹,刘雪梅,等. 我国榛子生产研究概况[J]. 经济林研究,2008,26(2):123-126.

HOU Z X, YUAN M D, LIU X M, et al. Survey of production and researches on hazelnut in China[J]. *Nonwood Forest Research*, 2008, 26(2):123-126.

[3] 王贵禧,李淑丽,田振艳. 平欧杂种榛产业优势及发展现状[J]. 林业科技通讯,2021,(6):3-6.

WANG G X, LI S L, TIAN Z Y. Industrial trend and development status of *Corylus heterophylla* Fish. × *C. avellana* L.[J]. *Forest Science and Technology*, 2021,(6):3-6.

[4] 邓 娜,杨 凯,赵玉红. 8 种抗寒平欧杂种榛子油脂成分分析及比较[J]. 食品科学,2017,38(12):7.

DENG N, YANG K, ZHAO Y H. Comparative analysis of

oils of 8 cold-resistant flat-European hybrid varieties of hazelnuts (*Corylus heterophylla* Fisch. × *Corylus avellana* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2017, **38**(12): 7.

[5] COSMULESCU S, BOTU M, TRANDAFIR I. The mineral source for human nutrition of nuts in different hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars [J]. *Notulae Botanicae, Horti Agrobotanici*, Cluj-Napoca, 2013, **41**(1): 250-256.

[6] ZAMBON I, COLOSIMO F, MONARCA D, *et al.* An innovative agro-forestry supply chain for residual biomass: physicochemical characterisation of biochar from olive and hazelnut pellets[J]. *Energies*, 2016, **9**(7): 526.

[7] 郑金利, 解明, 梁维坚, 等. 榛子新品种辽榛 3 号的选育[J]. 中国果树, 2007, (4): 5-7.

ZHENG J L, XIE M, LIANG W J, *et al.* Breeding of an new improved cultivar of hazelnuts ‘Liaozhen 3’ [J]. *China Fruits*, 2007, (4): 5-7.

[8] 解明, 郑金利, 王道明, 等. 杂种榛子‘辽榛 7 号’‘辽榛 8 号’‘辽榛 9 号’的选育[J]. 北方果树, 2017, (3): 53-55.

XIE M, ZHENG J L, WANG D M, *et al.* Breeding of Ping’ou hybrid hazelnuts ‘Liaozhen 7’, ‘Liaozhen 8’, ‘Liaozhen 9’ [J]. *Northern Fruits*, 2017, (3): 53-55.

[9] 王道明, 梁维坚, 郑金利, 等. 榛新品种‘秋香’的选育[J]. 中国果树, 2021, (11): 65-66.

WANG D M, LIANG W J, ZHENG J L, *et al.* Breeding of an new improved cultivar of hazelnuts ‘Qiuxiang’ [J]. *China Fruits*, 2021, (11): 65-66.

[10] 王道明, 梁维坚, 郑金利, 等. 榛新品种‘晚香’的选育[J]. 中国果树, 2021, (12): 76-77.

WANG D M, LIANG W J, ZHENG J L, *et al.* Breeding of an new improved cultivar of hazelnuts ‘Wanxiang’[J]. *China Fruits*, 2021, (12): 76-77.

[11] 王道明, 梁维坚, 郑金利, 等. 榛新品种‘先达 1 号’的选育[J]. 中国果树, 2021, (5): 71-72.

WANG D M, LIANG W J, ZHENG J L, *et al.* Breeding of new high quality hazelnut cultivar ‘Xianda 1’ [J]. *China Fruits*, 2021, (5): 71-72.

[12] 侯东梅, 梁锁兴, 张明丽, 等. 榛新品种‘晋榛 2 号’的选育[J]. 中国果树, 2021, (1): 91-93.

HOU D M, LIANG S X, ZHANG M L, *et al.* Breeding of an new improved cultivar of hazelnuts ‘Jinzen 2’[J]. *China Fruits*, 2021, (1): 91-93.

[13] 张敏, 潘存德, 罗威. 基于光谱特征参量的‘新榛 1 号’叶片磷含量估测模型[J]. 新疆农业大学学报, 2020, **43**(4): 252-260.

ZHANG M, PAN C D, LUO W. Estimation model of foliar phosphorus content of *Corylus* ‘Xinzen 1’ based on spectral characteristic parameters[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2020, **43**(4): 252-260.

[14] 赵通, 程丽, 张德, 等. 施硼和赤霉素对‘李广杏’坐果率及果实品质的影响[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(2): 319-327.

ZHAO T, CHENG L, ZHANG D, *et al.* Effects of boron and gibberellin spraying on fruit quality and fruit setting rate of ‘Liguangxing’ [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, **40**(2): 319-327.

[15] 杜良伟. 5 个平欧杂种榛在安徽皖中地区生长结果表现[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2021.

[16] 李嘉诚, 罗达, 史彦江, 等. 平欧杂种榛叶片解剖结构的抗旱性研究[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(3): 462-471.

LI J C, LUO D, SHI Y J, *et al.* Study on drought resistance of leaf anatomical structure of *Corylus heterophylla* × *C. avellana* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, **39**(3): 462-471.

[17] 罗青红, 寇云玲, 史彦江, 等. 6 种杂交榛对新疆盐碱土的生理适应性研究[J]. 西北植物学报, 2013, **33**(9): 1 867-1 873.

LUO Q H, KOU Y L, SHI Y J, *et al.* Physiological characteristics of adaptability of six hybrid hazelnuts to saline-alkali land in Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, **33**(9): 1 867-1 873.

[18] VALENTINI N, MORAGLIO S T, ROLLE L, *et al.* Nut and kernel growth and shell hardening in eighteen hazelnut cultivars (*Corylus avellana* L.) [J]. *Horticultural Science*, 2015, **42**(3): 149-158.

[19] 罗达, 史彦江, 宋锋惠, 等. 25 个平欧杂种榛品种(系)坚果经济性状变异研究[J]. 西北林学院学报, 2020, **35**(4): 68-75.

LUO D, SHI Y J, SONG F H, *et al.* Variations of nut economic traits of 25 *Corylus heterophylla* × *C. avellana* cultivars (varieties) [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2020, **35**(4): 68-75.

[20] 张翌, 崔建国, 邸爽, 等. 不同品种杂种榛果实表型性状的变异研究[J]. 西北林学院学报, 2010, **25**(6): 75-78.

ZHANG G, CUI J G, DI S, *et al.* Variations of phenotypic characteristics of fruits of different hybrid hazelnut varieties [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, **25**(6): 75-78.

[21] 马庆华, 王贵禧, 梁维坚, 等. 平欧杂种榛坚果性状的加工性能分析与综合评价[J]. 东北林业大学学报, 2011, **39**(8): 61-63.

MA Q H, WANG G X, LIANG W J, *et al.* Processing traits and synthetical evaluation of nut quality of *Corylus heterophylla* × *C. avellana* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, **39**(8): 61-63.

[22] 宋新芳. 平榛优良单株选育及半同胞家系子代测定[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2007.

[23] MILOŠEVIĆ T, MILOŠEVIĆ N. Determination of size and shape features of hazelnuts using multivariate analysis[J].

Acta Scientiarum Polonorum, 2017, **16**(5): 49-61.

[24] FIRATLIĞIL-DURMUŞ E, ŠÁRKA E, BUBNÍK Z, *et al.* Size properties of legume seeds of different varieties using image analysis[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, **99**(4): 445-451.

[25] AYDIN C. Physical properties of hazelnuts[J]. *International Agrophysics*, 2002, **25**(2):115-121.

[26] ALTUNTAS E, OZGOZ E, TASER O F. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, **71**: 37-43.

[27] OLAJIDE J O, ADE-OMOWAYE B. Some physical properties of locust bean seed[J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, **74**(2): 213-215.

[28] 王 迪, 童盼盼, 张亚若, 等. 5 种新疆苹果资源的果实品质性状比较与评价[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(3): 416-430.

WANG D, TONG P P, ZHANG Y R, *et al.* Comparison and evaluation of fruit quality traits of five apple resources from Xinjiang[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(3): 416-430.

[29] 李彦彪, 马维峰, 贾 进, 等. 河西走廊不同产地‘赤霞珠’酿酒葡萄果实品质评价[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(05): 817-827.

LI Y B, MA W F, JIA J, *et al.* Evaluation on fruit quality of cabernet sauvignon wine grapes from different producing areas in Hexi Corridor[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(5): 817-827.

[30] DEMCHIK M C, FISCHBACH J, YATES M D. Physical characteristics and sensory analysis of American hazelnuts in comparison to Tonda di Giffoni[J]. *Agroforestry Systems*, 2016, **90**(5): 919-926.

[31] CIARMIELLO L F, MAZZEO M F, MINASI P, *et al.* Analysis of different european hazelnut (*Corylus avellana* L) cultivars: authentication, phenotypic features, and phenolic profiles[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, **62**(26): 6 236-6 246.

[32] SAYINCI B, KARA M, ERCISLI S, *et al.* Elliptic Fourier analysis for shape distinction of Turkish hazelnut cultivars [J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2015, (57): 1-11.

[33] 王贵禧. 中国榛属植物资源培育与利用研究(Ⅳ)——榛仁营养、综合利用与榛产业发展现状[J]. 林业科学研究, 2018, **31**(1): 130-136.

WANG G X. Progress in cultivation and utilization of *Corylus* L. resources in China (Ⅳ)——Nutrition, comprehensive utilization and industry development[J]. *Forest Research*, 2018, **31**(1): 130-136.

[34] 罗 达, 史彦江, 宋锋惠, 等. 平欧杂种榛果实经济性状与综合评价[J]. 东北林业大学学报, 2020, **48**(5): 45-49.

LUO D, SHI Y J, SONG F H, *et al.* Evaluation of fruit economic traits of *Corylus heterophylla* × *C. avellana* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2020, **48**(5): 45-49.

[35] 艾吉尔·阿不拉, 马庆华, 王贵禧, 等. 仁用加工型平欧杂种榛品种(系)的坚果经济性状[J]. 林业科学, 2013, **49**(7): 175-182.

AIJIER A, MA Q H, WANG G X, *et al.* Economic traits of special nut-processded cultivars of Ping’ou hybrid hazelnuts (*Corylus heterophylla* × *C. avellana*) [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, **49**(7): 175-182.

[36] MEHLENBACHER S. Hazelnuts (*Corylus*) [C]. *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops*. 1991.

[37] MENNAN H, NGOUAJIO M. Effect of Brassica cover crops and Hazelnut Husk Mulch on Weed Control in Hazelnut Orchards[J]. *HortTechnology*, 2012, **22**: 99-105.

[38] GÜLSER C, KIZILKAYA R, ASKIN T, *et al.* Changes in soil quality by compost and hazelnut husk applications in a Hazelnut Orchard [J]. *Compost Science & Utilization*, 2015, **23**(3): 135-141.

[39] ŞENCAN A, KARABOYACI M, KILIÇ M. Determination of lead (Ⅱ) sorption capacity of hazelnut shell and activated carbon obtained from hazelnut shell activated with ZnCl₂ [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, **22**(5): 3 238-3 248.

[40] ZHU M, LIU R, CHAI H, *et al.* Hazelnut shell activated carbon: a potential adsorbent material for the decontamination of uranium (VI) from aqueous solutions[J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2016, **310**(3): 1 147-1 154.

(编辑:潘新社)