

郝苑汝,申建国,王相媛,等. 陕西主要核桃品种(优系)坚果品质综合分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(5):162-171.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.05.022

陕西主要核桃品种(优系)坚果品质综合分析

郝苑汝¹, 申建国², 王相媛¹, 白茹雪¹, 赵宝伟¹, 翟梅枝^{1,3}

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; 2. 黄龙县核桃产业开发服务中心, 陕西黄龙 715700;
3. 陕西省核桃工程技术研究中心, 陕西杨凌 712100)

摘要:为探究陕西省不同产地核桃的品质差异,进一步发掘陕西核桃特异地质资源,为良种选择和育种提供理论基础,对陕西省山阳县、商州区及宜君县三地的 65 个核桃品种(优系)的经济性状、外观品质、风味等指标及坚果综合品质进行研究。结果表明,不同核桃品种(优系)的各品质指标数据之间不尽相同,坚果果形以长圆形为主;75% 样品的单果质量都达到 I 级标准(≥ 12 g)以上;有 30 个样品的出仁率达到特级标准($\geq 53\%$);超过 25% 的样品壳厚达国家特级标准(≤ 1.1 mm)。坚果各经济性状的变异程度差异较大,变异系数范围在 5.38%~22.93% 之间,变异系数排序为壳厚>仁质量>单果质量>出仁率>纵径>果形指数>横径>缝合线径>三径均值。采用主成分分析、综合指数法将不同品种(优系)核桃坚果的 13 个主要表型性状转化为 6 个主成分,再利用 6 个主成分建立综合评价模型,通过估算各品种的综合指数,选出果用型综合指数较高的品种(优系),分别为西林 2、西林 3、D15B8、D7B6、X2N5,选出食品加工型综合指数较高的品种(优系),分别为 KT-J15、KT-J05、D7B6、强特勒、D14B3。各品种(优系)坚果的品质特征有所不同,今后可以考虑在区域试验中进行深入研究,为核桃坚果产品的开发利用提供理论参考。

关键词:核桃;坚果品质;变异分析;相关性分析;主成分分析

中图分类号:S664.102.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)05-0162-10

核桃(*Juglans regia* L.),别称胡桃,是胡桃科植物,与扁桃、腰果、榛子并称为世界“四大干果”^[1]。核桃树具有较强的拦截烟尘、吸收二氧化碳、净化空气和水土保持的能力^[2]。核桃仁中含有大量蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养物质,并且含有人体必需

的微量元素、矿物质及胡萝卜素等多种维生素,营养价值较高^[3]。研究发现,核桃对润肺润肠、保健益智、预防和缓解心脑血管疾病、糖尿病和肥胖症等均有重要的药用和保健功能^[4],对人体非常有益。

我国是世界核桃起源中心之一,核桃也是我国重要的经济林树种之一,其分布广泛,品种多样,资源丰富^[5]。对核桃果实的经济性状进行综合分析是核桃良种选育工作的基础^[6]。目前,国内外对核桃果实性状进行综合分析的研究较多。李平等对湘西地区的核桃进行了调查和普选,同时对其果实的经济性状进行测定,并运用模糊数学方法对其进

收稿日期:2022-05-10

基金项目:陕西省重点研发计划(编号:2020NY-039)。

作者简介:郝苑汝(1995—),女,山西孝义人,博士研究生,研究方向为经济林。E-mail:547491699@qq.com。

通信作者:翟梅枝,教授,博士,博士生导师,研究方向为植物资源利用。E-mail:plum-zhai@163.com。

[18]唐荣南,汤兴陆. 松茶间作茶叶叶片的解剖构造和气孔活动[J]. 应用生态学报,1991,2(3):201-206.

[19]刘婧,王宝山,谢先芝. 植物气孔发育及其调控研究[J]. 遗传,2011,33(2):131-137.

[20]郭元超. 武夷类群的地理分布与演化特征[J]. 茶叶科学简报,1994(3):4-10.

[21]詹梓金,林茂锋. 福建野生茶资源的地理分布与生态型[J]. 福建农学院学报,1991,20(4):427-433.

[22]杨如兴,陈芝芝,张磊,等. 福建野生茶树种质资源保护与利用[J]. 茶叶学报,2017,58(3):96-101.

[23]陈潇敏,王鹏杰,王淑燕,等. 基于转录组挖掘蕉城苦茶苦茶碱

合成相关基因[J]. 应用与环境生物学报,2021,27(5):1382-1389.

[24]陈潇敏,赵峰,王淑燕,等. 福建野生茶树资源嘌呤生物碱构成评价及特异资源筛选[J]. 茶叶科学,2022,42(1):18-28.

[25]陈潇敏,赵峰,金珊,等. 福建云霄地方茶树品种资源生化成分特征分析与评价[J]. 西北植物学报,2022,42(1):127-137.

[26]周梦珍,谢曼卫,陈坚升,等. 抗寒凤凰水仙茶树资源性状调查[J]. 中国茶叶,2019,41(6):47-51.

[27]王泽涵,于文涛,方德音,等. 基于 EST-SNP 的福建云霄茶树种质资源遗传多样性分析[J]. 福建农业学报,2021,36(12):1431-1438.

行综合评判,最终选出凤凰 5 号、3 号和 1 号品种作为适合在我国南方低海拔地区推广的核桃良种^[7];周米生等在全面调查滁州市核桃大树资源的基础上,收集了 13 株优良单株核桃果实,并对其坚果性状进行相关性分析、主成分分析等,共筛选出 3 号、8 号作为适宜在江淮地区发展的优良无性系^[8];苏彦苹等研究了 8 个新疆核桃优株坚果的共 53 个品质指标,并分析了坚果综合品质,通过主成分分析揭示各优株坚果品质的综合评价指数,今后可根据各优株的不同坚果品质特征开发不同的核桃坚果产品^[9];于秋香等以 99 份来自石门、新疆、辽宁产区的核桃资源为试验材料,测评了果实的 13 个质量性状和 11 个数量性状,并结合相关性分析和聚类分析等方法综合测评了基于果实表型的核桃种质资源的遗传多样性^[10];陈芮蝶等以 26 个不同基因型的核桃为研究对象,对其 7 个感官指标和 9 个品质指标进行测定,并采用主成分分析法和聚类分析法等对主要性状进行鉴定,在一定程度上为不同基因型核桃品质的鉴定、合理利用及品种选择提供了理论依据^[2];Mirmahdi 等对伊朗等 6 个地区的 362 株核桃幼苗进行了形态学、果树学的多样性评估,根据育种者选择理想核桃树时需要考虑的重要商业性状,筛选出了 15 个优良基因型,推荐将其用于果园栽培^[11];唐敏等以河北临城核桃示范基地的 15 个核桃品种为试验材料,通过调查和测定各品种的果实特性及种仁营养成分,采用主成分分析法进行综合评价,得出绿岭、辽宁 1 号和绿波品种的表现较好,推荐在类似地区进行引种栽培^[12]。

陕西是我国的核桃主产区,核桃种质资源丰富。为深入挖掘和推广应用优质核桃资源,本研究以陕西省山阳县、商州区及宜君县三地筛选出的 65 个核桃品种(优系)为试验材料,对其坚果性状(单果质量、仁质量、三径、壳厚、果形、果面特点、仁色、饱满度)和出仁率、取仁难易度、含油量等指标进行测定和分析评价,并采用相关性分析、主成分分析等统计学方法对坚果品质性状进行综合评价和排序,筛选出性状优异的品种(优系),以期充分开发利用陕西省核桃资源、选育优良核桃品种奠定基础,从而为陕西省核桃品种优化升级及精深加工等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况

本试验所用材料采自陕西省

山阳县、商州区及宜君县的核桃示范基地。其立地和气候条件如下:山阳县位于陕西省商洛市,位于陕西南部,地处秦岭南坡、商洛市南部;山阳县平均海拔 1 100 m,属于北亚热带向暖温带过渡的季风性半湿润山地气候;气候温和,四季分明,平均气温为 13.1 ℃,年均日照时数为 2 134 h,年均降水量为 709 mm,无霜期为 207 d。

商州区位于陕西省东南部,地处秦岭东段南麓、丹江上游,西邻西安,东通鄂豫。商州区海拔 800 ~ 1 200 m,属暖温带南缘过渡带季风性、半湿润山地气候,年降水量为 740 mm,年均气温为 12.8 ℃,年均日照时数为 2 123 h,无霜期为 206 d。

宜君县位于陕西省中部铜川市北部的关中平原与陕北黄土高原结合部。宜君县平均海拔 1 395 m,属温带大陆性季风气候区,年降水量达 709 mm,气候冬暖夏凉,昼夜温差大,夏季平均气温为 19 ℃,年均日照时数为 2 134 h,无霜期为 207 d。

1.1.2 供试材料 供试坚果样品采集于 2021 年 9 月,每个品种(优系)选取生长势一致、无病虫害的单株,在每株树冠的上、中、下及里外层随机抽取 50 个样果,去青皮、自然风干后备用。

供试的 65 个核桃品种(优系)名称(代号)及样品编号见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 坚果经济性状的测定 依据 GB/T 20398—2006《核桃坚果质量等级》,每个样品(优系)随机选取 10 个样果,用千分之一电子天平测量单果质量、仁质量;用数显卡尺测量坚果三径(纵径、横径、缝合线径)和壳厚;对隔膜质地、种仁饱满度、取仁难易度及风味等感官指标进行评价赋值,描述型性状及赋值标准^[13]见表 2。

根据下述公式分别计算坚果的三径均值、出仁率及果形指数^[14]:

三径均值 = (纵径 + 横径 + 缝合线径) / 3;

出仁率 = 去壳仁质量 / 单果质量 × 100%;

果形指数 = 纵径 / [(横径 + 缝合线径) × 2]。

1.2.2 粗脂肪含量的测定 核仁粗脂肪含量的测定采用索氏抽提法^[15],参照 GB/T 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》。

1.3 数据处理

对所有核桃坚果的经济性状进行描述性统计分析,计算变异系数(CV),综合评价坚果的变异程度;采用 SPSS 18.0 对试验数据进行标准差分析和

表 1 不同核桃品种(优系)的名称及编号

编号	品种(优系)	编号	品种(优系)	编号	品种(优系)
1	西林 2	23	D6B1	45	KT-J06
2	D7B6	24	西洛 2 号	46	XJ02
3	西林 3	25	KT-J14	47	D14B8
4	D4B2	26	D15B1	48	D18B7
5	X2N5	27	D16B8	49	D16B3
6	D14B3	28	KT-J15	50	D10B7
7	D15B8	29	KT-J08	51	X16N3
8	D10B3	30	西扶 2 号	52	D11B4
9	D17B2	31	X10N4	53	强特勒
10	D8B2	32	D19B9	54	D3B3
11	D15B2	33	X10N8	55	串核桃
12	D16B6	34	KJ-J13	56	D13B4
13	D7B4	35	D8B1	57	X10N2
14	X2N1	36	D15B4	58	清香
15	X2N2	37	X3N3	59	X14B4
16	D1B1	38	KT-J01	60	KT-J11
17	D2B3	39	F2	61	X10N7
18	W185	40	X8B8	62	D4B9
19	D9B1	41	D19B6	63	KT-J05
20	F1	42	D13B3	64	北 7
21	D19B11	43	香玲	65	X9N5
22	北 2	44	X17B1		

表 2 坚果的描述型性状及赋值标准

编号	描述型性状	赋值标准
1	果面特点	光滑,10 分;略粗糙,6 分;粗糙,2 分
2	隔膜质地	膜质,10 分;纸/膜质,8 分;纸质,6 分;革质,4 分
3	取仁难易	易取整仁,10 分;易取整仁/半仁,8 分;易取半仁,6 分;难取,4 分
4	饱满度	饱满,10 分;饱满/半饱满,8 分;半饱满,6 分;不饱满,4 分
5	仁色	黄色,10 分;深黄色,8 分;黄褐色,6 分;褐色,4 分
6	风味	油香、香甜,10 分;油香,8 分;甜香,6 分;略香甜,4 分;无味或微涩,2 分

主成分分析,综合评价核桃不同品种(优系)坚果的品质。

2 结果与分析

2.1 坚果的主要经济性状及相关性分析

由表 3 可以看出,不同核桃栽培品种(优系)的 9 项经济性状指标(三径、单果质量、仁质量、出仁率、壳厚及果形指数等)不尽相同。三径均值大于

40 mm 的有 2 株,分别是西林 2、D7B6,两者三径均值分别为 40.90、40.82 mm;X9N5 的三径均值最小,仅为 32.87 mm。果形是果实外观品质的重要指标之一。根据果形指数可以将供试坚果分为 3 个等级:近圆形,果形指数为 0.90~1.10;长圆形,果形指数为 1.11~1.19;圆柱形,果形指数≥1.20。从表 3 还可以看出,65 个核桃品种(优系)的坚果果形以长圆形为主,共有 36 个;其次是近圆形,共有 21 个;属于圆柱形果形的最少,仅有 8 个。

从单果质量看,65 个核桃品种(优系)中有 75%的品种(优系)均达到国家 I 级标准(≥12 g)以上。属于大果型(>15 g)的核桃品种(优系)有 9 个,其中最大的是 D15B2 核桃优系,单果质量达到 19.07 g;中果型(10~15 g)核桃品种(优系)偏多,有 51 个,数量占比为 78.46%;小果型(<10 g)核桃相对较少,仅 5 个核桃品种(优系)的单果质量低于 10 g。从仁质量看,65 个核桃品种(优系)的核仁质量在 4~10 g 之间,仁质量在 9 g 以上的品种(优系)有 3 个,其中西林 3 核桃的果仁质量最大,为 10.04 g,仁质量最小的为强特勒核桃品种,仅为 4.32 g。从出仁率看,符合 I 级标准(≥48%)的核桃品种(优系)有 50 个,其中达到特级标准(≥53%)的有 30 个。出仁率在 60%以上的有 6 个,分别为西林 3、X17B1、XJ02、D18B7、D16B3 和北 7;D15B2、串核桃的出仁率较低,不到 42%。从壳厚度看,变化范围为 0.61~2.50 mm,平均值为 1.25 mm,且以壳厚 1.25 mm 多见。坚果壳厚达到国家优级标准(≤1.1 mm)的核桃品种(优系)有 17 个,数量占比超过 25%;壳厚大于 1.2 mm 的核桃超过半数,有 37 个;壳厚小于 1.0 mm 的核桃品种(优系)有 11 个,其中最薄的品种(优系)为 D16B3,该核桃优系的壳厚虽然达到优级标准,但厚度太薄,在运输过程中可能破碎,从而造成果仁不完整,因此在核桃品种选优中要综合考虑。

65 个核桃品种(优系)坚果的主要经济性状变异系数在 5.38%~22.93%之间。变异系数>10%的坚果指标为单果质量(16.04%)、仁质量(16.89%)、出仁率(10.68%)及壳厚(22.93%),说明这几项遗传变异相对较大。三径均值的变异系数相对较小,为 5.38%,说明其遗传变异较小,相对稳定。坚果的主要经济性状变异系数排序为壳厚>仁质量>单果质量>出仁率>纵径>果形指数>横径>缝合线径>三径均值。从核桃不同品

表 3 65 个不同品种(优系)核桃坚果的主要经济性状

品种编号	纵径 (mm)	横径 (mm)	缝合线径 (mm)	三径均值 (mm)	单果质量 (g)	仁质量 (g)	出仁率 (%)	壳厚 (mm)	果形指数
1	42.63	41.79	38.29	40.90	17.80	9.99	56.12	1.21	1.06
2	45.25	40.90	36.32	40.82	14.39	7.41	51.49	1.52	1.17
3	45.62	37.45	35.23	39.43	16.67	10.04	60.23	1.14	1.26
4	43.08	38.33	35.75	39.05	13.87	7.32	52.78	1.16	1.16
5	40.23	38.65	37.95	38.94	17.53	8.62	49.17	1.37	1.05
6	48.20	35.49	33.06	38.92	15.06	8.43	55.98	1.34	1.41
7	37.95	38.71	39.47	38.71	16.83	8.46	50.27	1.14	0.97
8	40.96	37.80	36.30	38.35	12.79	7.02	54.89	1.54	1.11
9	41.64	37.28	35.89	38.27	13.57	7.09	52.25	1.38	1.14
10	40.99	37.78	35.67	38.15	13.85	7.95	57.40	1.03	1.12
11	39.48	37.62	36.51	37.87	19.07	8.00	41.95	1.69	1.07
12	46.31	32.80	33.84	37.65	12.28	6.70	54.56	1.12	1.39
13	39.35	36.53	36.90	37.59	12.50	7.47	59.76	0.86	1.07
14	34.97	40.32	36.74	37.34	17.94	9.46	52.73	1.56	0.91
15	40.08	36.31	35.36	37.25	13.63	6.20	45.49	1.40	1.12
16	41.67	35.58	34.45	37.23	15.06	7.48	49.67	1.57	1.19
17	40.16	36.49	34.26	36.97	12.58	6.93	55.09	1.19	1.14
18	38.47	37.45	34.84	36.92	13.87	6.98	50.32	1.15	1.06
19	38.29	36.21	35.83	36.78	14.25	7.51	52.70	0.91	1.06
20	39.54	35.63	35.02	36.73	16.47	7.32	44.44	1.69	1.12
21	39.75	36.10	33.77	36.54	13.25	7.45	56.23	1.04	1.14
22	39.10	34.62	35.58	36.43	12.46	7.25	58.19	1.09	1.11
23	41.10	35.17	32.90	36.39	13.68	6.50	47.51	1.65	1.21
24	38.20	35.62	35.20	36.34	14.76	8.31	56.30	1.34	1.08
25	39.13	34.38	34.62	36.04	10.88	5.34	49.08	1.10	1.13
26	40.45	34.96	32.53	35.98	13.23	6.50	49.13	1.54	1.20
27	38.86	35.39	33.27	35.84	13.80	6.95	50.36	1.32	1.13
28	39.53	34.92	33.01	35.82	10.10	4.40	43.56	2.40	1.16
29	39.27	33.79	34.24	35.77	13.07	6.12	46.82	1.34	1.15
30	34.94	37.52	34.66	35.71	14.47	7.52	51.97	1.33	0.97
31	38.93	34.92	33.24	35.70	12.54	7.45	59.41	0.68	1.14
32	38.86	35.03	33.19	35.69	12.52	7.07	56.47	1.11	1.14
33	37.20	34.78	34.62	35.53	11.41	6.51	57.06	0.88	1.07
34	37.07	34.47	34.92	35.49	11.76	6.73	57.23	1.21	1.07
35	38.66	33.87	33.35	35.29	12.00	7.05	58.75	1.25	1.15
36	37.99	34.58	33.12	35.23	14.54	7.24	49.79	1.68	1.12
37	37.62	34.89	33.03	35.18	12.08	6.82	56.46	0.97	1.11
38	37.02	35.30	33.15	35.16	11.96	6.07	50.75	1.22	1.08
39	33.31	37.74	34.26	35.10	14.00	6.91	49.36	1.48	0.93
40	37.71	34.14	32.86	34.90	12.64	5.97	47.23	1.25	1.13
41	37.71	33.90	33.01	34.87	11.40	5.62	49.30	1.17	1.13
42	36.47	34.55	33.02	34.68	13.34	6.64	49.78	1.42	1.08
43	37.42	34.54	32.07	34.68	12.04	6.28	52.16	0.96	1.12

表 3(续)

品种编号	纵径 (mm)	横径 (mm)	缝合线径 (mm)	三径均值 (mm)	单果质量 (g)	仁质量 (g)	出仁率 (%)	壳厚 (mm)	果形指数
44	34.53	34.52	34.94	34.66	13.00	7.95	61.15	0.95	0.99
45	34.53	35.42	33.91	34.62	11.30	6.63	58.67	0.93	1.00
46	37.09	33.94	32.56	34.53	11.44	7.76	67.83	0.76	1.12
47	37.77	32.99	32.50	34.42	12.24	6.42	52.45	1.15	1.15
48	38.30	32.98	31.98	34.42	11.78	7.14	60.61	1.08	1.18
49	35.26	34.23	33.46	34.32	9.96	6.38	64.06	0.61	1.04
50	37.00	33.28	32.50	34.26	13.51	6.25	46.26	1.30	1.12
51	36.01	34.29	32.30	34.20	13.35	7.14	53.48	1.42	1.08
52	37.75	33.43	31.38	34.19	10.84	5.17	47.69	1.20	1.16
53	38.27	32.38	31.55	34.07	9.39	4.32	46.01	1.24	1.20
54	38.30	31.74	31.45	33.83	11.18	6.52	58.32	1.03	1.21
55	36.47	33.17	31.52	33.72	11.86	4.97	41.91	1.34	1.13
56	36.00	32.78	32.32	33.70	13.61	6.23	45.78	1.62	1.11
57	36.53	33.03	31.40	33.65	12.64	7.04	55.70	1.64	1.13
58	37.19	31.98	31.69	33.62	11.31	5.28	46.68	1.29	1.17
59	38.17	31.44	31.21	33.61	11.34	6.36	56.08	1.14	1.22
60	37.26	32.65	30.86	33.59	9.27	5.07	54.69	1.30	1.17
61	34.09	33.31	32.72	33.37	11.67	6.49	55.61	1.24	1.03
62	34.67	33.10	32.28	33.35	12.57	5.57	44.31	1.38	1.06
63	35.77	33.32	30.72	33.27	9.45	4.53	47.94	1.23	1.12
64	36.98	31.98	30.36	33.11	9.96	6.43	64.56	0.82	1.19
65	35.26	32.23	31.13	32.87	12.27	6.94	56.56	1.30	1.11
均值	38.53	35.12	33.79	35.81	13.01	6.86	52.87	1.25	1.12
标准差	2.90	2.24	1.96	1.93	2.09	1.16	5.65	0.29	0.08
变异系数(%)	7.53	6.38	5.79	5.38	16.04	16.89	10.68	22.93	7.14

表 4 坚果主要经济性状的相关性分析结果

性状	相关系数							
	纵径	横径	缝合线径	三径均值	单果质量	仁质量	出仁率	壳厚
纵径	1.000 0							
横径	0.366 5	1.000 0						
缝合线径	0.344 0	0.856 5	1.000 0					
三径均值	0.760 3	0.860 9	0.842 6	1.000 0				
单果质量	0.332 5	0.727 5	0.711 5	0.689 2	1.000 0			
仁质量	0.345 6	0.668 8	0.666 4	0.657 9	0.796 5	1.000 0		
出仁率	0.017 0	-0.035 2	0.005 2	-0.003 4	-0.204 9	0.418 2	1.000 0	
壳厚	0.115 8	0.147 9	0.031 1	0.125 9	0.307 8	-0.115 3	-0.671 2	1.000 0

种(优系)的变异程度可以看出,核桃各品种(优系)主要经济性状间存在不同程度的差异,遗传变异较为丰富,具有较大的可选择性。

对 65 个核桃品种(优系)的纵径、横径、缝合线径、三径均值、单果质量、仁质量、出仁率、壳厚等 8 项坚果主要经济性状进行相关性分析。由表 4 可

知,坚果横径和缝合线径、三径均值之间,缝合线径和三径均值之间均呈高度正相关;仁质量与横径、缝合线径、三径均值、单果质量之间,单果质量与横径、缝合线径、三径均值之间,三径均值与纵径之间均呈中度正相关,而壳厚与出仁率之间呈中度负相关;坚果纵径与横径、缝合线径、单果质量、仁质量

之间,单果质量与壳厚之间,以及仁质量与出仁率之间呈低度正相关;其余经济性状之间的相关性较弱,基本可视是不相关。

2.2 坚果主要描述型性状的数量化分析

依据坚果的描述型性状赋值标准对 65 个陕西核桃优株坚果的主要描述型性状进行观测,其果面特点、隔膜质地、取仁难易及饱满度、仁色、风味等描述型指标的数量化结果见表 5。可以看出,在果面特点方面,表面不光滑的品种占多数,占比为 72.3%,其中有 15 个品种(优系)表现为“粗糙”;在坚果内的隔膜质地方面,以纸质居多, D16B6、D8B1、北 7 和 KT-J05 为膜质, X2N5、D15B2、F1、D16B8、KT-J08、D15B4、D14B8、D10B7 品种(优系)的隔膜质地较硬,为革质;在取仁难易方面,除 D15B2、X2N2、F1、D16B8、D10B7、串核桃难取仁外,其余坚果基本均易取半仁或整仁;在饱满度方面,大部分品种(优系)都能达到饱满状态,只有 KT-J15、KT-J13、X3N3 和强特勒品种(优系)的饱满度不高;在全部样品中,果仁仁色多为黄色、深黄及褐色,而 D8B2、X2N1、D19B11、D10B7 较为特殊,为紫仁;在坚果风味方面,大多品种(优系)均口感油香润滑,无涩味,以 D15B8、D17B2 为最佳。

2.3 不同品种(优系)核桃坚果品质的综合评价

2.3.1 坚果性状的主成分分析

主成分分析可以利用原变量间具有较强相关性的特点,对原变量进行降维分析,用少量因素即可描述多种指标或因素之间的关系^[16]。在主成分分析中,主成分的特征值、百分率是选择主成分的依据。将不同品种(优系)核桃坚果的纵径、横径、缝合线径、三径均值、单果质量、仁质量、出仁率、壳厚、隔膜质地、取仁难易、饱满度、仁色、风味等 13 个主要表型性状指标转化成为 6 个主成分进行主成分分析。由表 6 可以看出,前 6 个主成分的累积方差贡献率为 84.57%,表明前 6 个主成分基本可以代表坚果品质的综合信息,可以较全面地反映各指标的信息量。因此,选取前 6 个主成分作为核桃综合性状的重要主成分,其中第 1 主成分的贡献率最高,为 34.834%,权重为 0.41,所体现的变量信息最多。

如表 7 所示,在选取的 6 个主成分中,第 1 主成分在横径、缝合线径、三径均值和单果质量上有较大正载荷量,说明三径大小、单果质量对核桃果实性状有重要作用。第 2 主成分在出仁率上有最大正载荷量,说明出仁率高是核桃优良性状的重要表

现。第 3 主成分在取仁难易上有最大正载荷量,在饱满度上有最大负载荷量,表明取仁难易对核桃果实表型性状有正向促进作用,饱满度则对核桃果实表型性状有负向作用。在第 4 主成分中,风味的正载荷量最大。在第 5 主成分中,仁色表现出最大的正载荷量,说明仁色对核桃果实性状的影响较大。在第 6 主成分中,纵径有最大负载荷量。

由于主成分比较多,单一的主成分难以对优系多种性状作出综合评价。因此,根据当前核桃市场的消费趋势,将不同利用方向的主成分结合起来,采用各个主成分得分与对应特征值百分率累加的方法构建各个优系的综合评价指数,用以评价不同利用方向核桃优系的综合性状优劣,可以为核桃优系选育及开发利用提供理论依据^[17]。由表 7 可以看出,在第 1、第 2 主成分中,三径均值(0.431)、出仁率(0.610)具有较大的正系数,表明第 1、第 2 主成分主要反映果形、饱满度均有较高的特征,因此第 1、第 2 主成分可作果用指标。在第 3、第 4、第 5、第 6 主成分中,取仁难易(0.441)、风味(0.555)、仁色(0.874)、饱满度(0.407)具有较大正系数,表明第 3、第 4、第 5、第 6 主成分可以作为食品加工用指标。

2.3.2 综合评价指数函数的建立及分析

本试验采用综合指数法建立选择指标体系。根据主成分分析结果,将不同品种(优系)核桃坚果的 13 个主要表型性状转化为 6 个主成分。分别用 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 、 Y_5 和 Y_6 代表 6 个主成分,分别用 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 \cdots 、 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 代表 13 个性状指标,列出各主成分的线性函数表达式如下:

$$Y_1 = 0.258Z_1 + 0.417Z_2 + 0.413Z_3 + 0.431Z_4 + 0.422Z_5 + 0.384Z_6 - 0.019Z_7 + 0.094Z_8 - 0.171Z_9 - 0.113Z_{10} + 0.076Z_{11} + 0.018Z_{12} + 0.146Z_{13};$$

$$Y_2 = 0.110Z_1 + 0.044Z_2 + 0.066Z_3 + 0.095Z_4 - 0.134Z_5 + 0.253Z_6 + 0.610Z_7 - 0.543Z_8 + 0.366Z_9 + 0.289Z_{10} + 0.075Z_{11} - 0.024Z_{12} - 0.022Z_{13};$$

$$Y_3 = 0.376Z_1 + 0.137Z_2 + 0.067Z_3 + 0.264Z_4 - 0.145Z_5 - 0.217Z_6 - 0.181Z_7 + 0.194Z_8 + 0.210Z_9 + 0.441Z_{10} - 0.530Z_{11} - 0.111Z_{12} - 0.308Z_{13};$$

$$Y_4 = 0.232Z_1 - 0.051Z_2 - 0.169Z_3 + 0.040Z_4 + 0.003Z_5 - 0.071Z_6 - 0.131Z_7 + 0.292Z_8 + 0.436Z_9 + 0.191Z_{10} + 0.407Z_{11} - 0.324Z_{12} + 0.555Z_{13};$$

$$Y_5 = 0.179Z_1 - 0.096Z_2 - 0.071Z_3 + 0.028Z_4 - 0.041Z_5 - 0.020Z_6 + 0.005Z_7 + 0.066Z_8 + 0.140Z_9 + 0.032Z_{10} - 0.165Z_{11} + 0.874Z_{12} + 0.368Z_{13};$$

表 5 不同品种(优系)核桃坚果的主要描述型性状

品种编号	果面特点		隔膜质地		取仁难易		饱满度		仁色		风味	
	质地	赋值 (分)	质地	赋值 (分)	程度	赋值 (分)	程度	赋值 (分)	颜色	赋值 (分)	风味	赋值 (分)
1	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
2	光滑	10	纸质	6	易取整仁	10	饱满	10	深黄色	8	略香甜	4
3	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
4	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满、半饱满	8	黄色	10	油香	8
5	粗糙	2	革质	4	易取整仁	10	饱满	10	黄带褐色	6	无味	2
6	粗糙	2	纸质	6	易取整仁	10	饱满	10	深黄色	8	油香	8
7	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香、香甜	10
8	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
9	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香、香甜	10
10	光滑	10	纸质	6	易(整、半)	8	饱满	10	黄带紫	* 特殊	甜香	6
11	光滑	10	革质	4	难取	4	饱满	10	黄色	10	油香	8
12	略粗糙	6	膜质	10	易取半仁	6	饱满	10	深黄色	8	略香甜	4
13	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	微涩	2
14	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	紫仁	* 特殊	油香	8
15	略粗糙	6	纸质	6	难取	4	饱满	10	深黄色	8	略香甜	4
16	微粗糙	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	深黄色	8	油香	8
17	略粗糙	6	纸质	6	易(整、半)	8	饱满、半饱满	8	黄带褐色	6	无味	2
18	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	略香甜	4
19	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	深黄色	8	油香	8
20	光滑	10	革质	4	难取	4	饱满	10	黄色	10	甜香	6
21	光滑	10	纸质	6	易取	10	饱满	10	黄少有紫	* 特殊	甜香	6
22	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	甜香	6
23	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	油香	8
24	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
25	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
26	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	略香甜	4
27	略粗糙	6	革质	4	难取	4	饱满	10	黄色	10	甜香	6
28	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	半饱满	6	深黄色	8	甜香	6
29	粗糙	2	革质	4	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	无味	2
30	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	微涩	2
31	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	无味	2
32	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	褐色	4	无味	2
33	略粗糙	6	纸质	6	易取整仁	10	饱满	10	黄色	10	甜香	6
34	粗糙	2	纸质	6	易取整仁	10	半饱满	6	黄色	10	无味	2
35	光滑	10	膜质	10	易取整仁	10	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
36	粗糙	2	革质	4	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
37	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	不饱满	4	黄色	10	微涩	2
38	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
39	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	略香甜	4
40	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	深黄色	8	微涩	2
41	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
42	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	微涩	2
43	光滑	10	纸质	6	易取整仁	10	饱满	10	黄色	10	略香甜	4

表 5(续)

品种编号	果面特点		隔膜质地		取仁难易		饱满度		仁色		风味	
	质地	赋值 (分)	质地	赋值 (分)	程度	赋值 (分)	程度	赋值 (分)	颜色	赋值 (分)	风味	赋值 (分)
44	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	略香甜	4
45	略粗糙	6	纸质	6	易(整、半)	8	饱满	10	黄色	10	甜香	6
46	微粗糙	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
47	略粗糙	6	革质	4	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	无味	2
48	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	褐色	4	甜香	6
49	粗糙	2	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	甜香	6
50	略粗糙	6	革质	4	难取	4	饱满	10	黄(略带紫色)*特殊		油香	8
51	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	甜香	6
52	光滑	10	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
53	略粗糙	6	纸质	6	易取整仁	10	半饱满	6	黄色	10	无味	2
54	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	无味	2
55	微粗糙	10	纸质	6	难取	10	饱满	10	黄色	10	无味	2
56	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
57	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
58	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	无味	2
59	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	甜香	6
60	略粗糙	6	纸/膜质	8	易取整仁	10	饱满	10	深黄色	8	油香	8
61	光滑	10	纸质	6	不易取仁	10	饱满	10	黄带褐色	6	油香	8
62	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄带褐色	6	甜香	6
63	光滑	10	膜质	10	易取整仁	10	饱满	10	深黄色	8	油香	8
64	微粗糙	10	膜质	10	易(整、半)	8	饱满	10	黄色	10	略香甜	4
65	略粗糙	6	纸质	6	易取半仁	6	饱满	10	黄色	10	油香	8
平均值	6.43		6.03		6.77		9.66		8.28		5.34	
标准差	2.99		1.24		1.78		1.14		2.71		2.50	
变异系数(%)	46.45		20.56		26.27		11.80		32.80		46.81	

注:仁色赋值为“*特殊”,表明该品种为紫仁核桃,仁色带浅紫色,不在赋值描述中的分值范围内。

表 6 坚果性状主成分的方差贡献率、累计贡献率

成分	特征值	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	4.528	34.834	34.834
2	2.093	16.099	50.934
3	1.447	11.13	62.064
4	1.151	8.854	70.918
5	1.023	7.867	78.785
6	0.751	5.779	84.565

$$Y_6 = -0.657Z_1 + 0.275Z_2 + 0.186Z_3 - 0.160Z_4 + 0.107Z_5 + 0.067Z_6 - 0.048Z_7 + 0.086Z_8 - 0.011Z_9 + 0.551Z_{10} - 0.169Z_{11} + 0.020Z_{12} + 0.273Z_{13}。$$

陕西主要核桃品种(优系)坚果品质综合评价

指数函数表达式如下:

果用型综合指数(d_1) = 0.348 Y_1 + 0.161 Y_2 ;

加工型综合指数(d_3) = 0.111 Y_3 + 0.089 Y_4 + 0.079 Y_5 + 0.058 Y_6 。

通过综合评价指数函数的建立,本研究主要选出大果个的果用型品种(优系)和风味口感佳的食品加工型品种(优系)。通过估算其综合指数(表 8),选出果用型综合指数较高的品种(优系),其中排名前 15 株的分别是西林 2(2.281 7)、西林 3(1.748 9)、D15B8(1.471 7)、D7B6(1.364 5)、X2N5(1.313 8)、X2N1(1.276 8)、D14B3(1.062 3)、D8B2(0.984 7)、D4B2(0.954 0)、D15B2(0.928 5)、D17B2(0.775 1)、D7B4(0.720 8)、D10B3(0.664 5)、西洛 2(0.604 6)、D9B1(0.604 6)。在食品加工型

表 7 核桃坚果品质各指标相关矩阵的特征向量

指标	主成分特征向量					
	1	2	3	4	5	6
纵径	0.258	0.110	0.376	0.232	0.179	-0.657
横径	0.417	0.044	0.137	-0.051	-0.096	0.275
缝合线径	0.413	0.066	0.067	-0.169	-0.071	0.186
三径均值	0.431	0.095	0.264	0.040	0.028	-0.160
单果质量	0.422	-0.134	-0.145	0.003	-0.041	0.107
仁质量	0.384	0.253	-0.217	-0.071	-0.020	0.067
出仁率	-0.019	0.610	-0.181	-0.131	0.005	-0.048
壳厚	0.094	-0.543	0.194	0.292	0.066	0.086
隔膜质地	-0.171	0.366	0.210	0.436	0.140	-0.011
取仁难易	-0.113	0.289	0.441	0.191	0.032	0.551
饱满度	0.076	0.075	-0.530	0.407	-0.165	-0.169
仁色	0.018	-0.024	-0.111	-0.324	0.874	0.020
风味	0.146	-0.022	-0.308	0.555	0.368	0.273

表 8 核桃品种(优系)的综合评析指数

果用型		品种 编号	食品加工型		品种 编号
得分	排名		得分	排名	
2.281 7	1	1	0.481 2	1	28
1.748 9	2	3	0.470 2	2	63
1.471 7	3	7	0.363 7	3	2
1.364 5	4	2	0.339 9	4	53
1.313 8	5	5	0.339 6	5	6
1.276 8	6	14	0.335 6	6	35
1.062 3	7	6	0.333 9	7	60
0.984 7	8	10	0.209 7	8	34
0.954 0	9	4	0.208 0	9	12
0.928 5	10	11	0.200 4	10	4
0.775 1	11	9	0.185 4	11	9
0.720 8	12	13	0.173 0	12	55
0.664 5	13	8	0.157 7	13	21
0.604 6	14	24	0.120 3	14	23
0.604 6	15	19	0.112 6	15	16

综合指数较高的品种(优系)中,排名前 15 的品种(优系)分别是 KT-J15(0.481 2)、KT-J05(0.470 2)、D7B6(0.363 7)、强特勒(0.339 9)、D14B3(0.339 6)、D8B1(0.335 6)、KT-J11(0.333 9)、KJ-J13(0.209 7)、D16B6(0.208 0)、D4B2(0.200 4)、D17B2(0.185 4)、串核桃(0.173 0)、D19B11(0.157 7)、D6B1(0.120 3)、D1B1(0.112 6)。

选择综合评价指数高的前 5 名作为本次筛选的结果,即果用型品种(优系)中的西林 2、西林 3、D15B8、D7B6、X2N5,食品加工型品种(优系)中的

KT-J15、KT-J05、D7B6、强特勒、D14B3。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究对 65 个陕西核桃品种(优系)的 9 项坚果经济性状进行测定,并分析其变异程度,结果表明,陕西主要核桃品种(优系)的各品质指标数据不尽相同,坚果各经济性状的变异程度差异较大,变异系数范围在 5.38%~22.93%之间,将变异系数进行排序,得到壳厚>仁质量>单果质量>出仁率>纵径>果形指数>横径>缝合线径>三径均值。同时,依据坚果描述型性状赋值标准对全部样品的主要描述型性状进行观测和赋值分析。

采用主成分分析和综合指数法将不同品种(优系)核桃坚果的 13 个主要表型性状转化为 6 个主成分。利用 6 个主成分建立综合评价模型,通过估算各品种的综合指数,选出果用型综合指数较高的品种(优系),分别为西林 2、西林 3、D15B8、D7B6、X2N5;选出食品加工型综合指数较高的品种(优系),分别为 KT-J15、KT-J05、D7B6、强特勒、D14B3。各品种(优系)坚果的品质有所不同,可用于开发不同的核桃坚果产品。

3.2 讨论

目前,经济林中的良种选育和优株评价主要通过测定对比其性状指标结合综合打分评价进行。主成分分析可将多个指标转化为综合指数进行评估,能够简化程序,避免性状相关性的影响及出现

大量信息重叠,因此选择主成分分值为选优和评价指标,能够较准确地了解各品种的综合表现^[18-19]。所以在经济林树种选育工作中,常将选育目的和研究需求结合起来,应用主成分分析法综合评价筛选,即可获得综合性状优良的育种资源^[20]。在本研究中,将 13 个坚果品质指标转化为 6 个主成分,较好地测评了陕西核桃不同品种(优系)的综合性状,并筛选出了不同用途的核桃栽植品种。王一峰等对在甘肃成县新品种选育中获得的 13 棵优树的 5 组主要经济性状(三径均值、单果质量、仁质量、壳厚及出仁率)进行主成分分析,转化为了 2 个反映核桃主要经济性状的主成分,并计算得出了主成分函数式,且综合评价结果筛选出 2 号优树坚果综合指数最优,可进入品种区试^[21]。黄晓露等对广西河池、百色地区的 81 株核桃单株的果实性状和种仁营养成分等 8 个品质性状进行主成分分析和综合评价,发现不饱和脂肪酸含量、饱和脂肪酸含量、三径和单果质量是评价核桃品质最主要的性状,且脂肪酸含量的贡献率高于果实性状,并由此筛选出综合性状较好的 10 株单株作为良种进行扩繁和应用^[22]。韦艺等对广西河池市的 108 株核桃优良单株的三径均值、单果质量、壳厚、仁质量和出仁率 5 个主要性状进行主成分分析,将 5 个性状指标转化为 3 个主成分,并建立了核桃优良单株果实性状综合评价数学模型,根据综合得分,筛选出了符合特级标准的 5 个优良单株^[23]。耿树香等对 10 个有代表性的云南核桃品质及 12 个其他产区普通核桃样品青皮、种仁、分心木的相关经济性状进行主成分分析,将 13 个性状指标转化为 3 个主成分,综合模型分析结果表明,云南主栽的 10 个品种的核桃青皮、种仁和分心木中主要营养成分总体优于普通核桃^[24]。以上这些研究结果均表明,主成分分析结合综合指数评价的方法在筛选核桃优株中有重要应用价值,并且该方法在一定程度上可为核桃资源的品质鉴定、品种改良、优株选育及生产推广等提供理论依据。

参考文献:

- [1] 张 强,虎海防,李西萍. 七个新疆良种核桃品质评价分析[J]. 北方园艺,2010(19):16-17.
- [2] 陈芮蝶,高 飞,计雅男,等. 秦巴山区和黄土塬区不同基因型核桃坚果品质的综合评价[J]. 河南农业大学学报,2021,55(5):868-874.
- [3] 贾昌路,张锐利,张 宏,等. 新疆阿克苏地区核桃品质分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):351-354.
- [4] Kendall C W C, Esfahani A, Josse A R, et al. The glycemic effect of nut-enriched meals in healthy and diabetic subjects[J]. Nutrition Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2011, 21(Suppl):34-39.
- [5] 傅本重,邹路路,朱洁倩,等. 中国核桃生产现状与发展思路[J]. 江苏农业科学,2018,46(18):5-8.
- [6] 贺 娜,耿树香,宁德鲁. 大理州不同品种核桃果实品质综合评价[J]. 2018,47(2):117-121.
- [7] 李 平,王承南,谷战英,等. 湘西凤凰核桃果实性状综合评判[J]. 经济林研究,2013,31(1):106-109.
- [8] 周米生,肖正东,季琳琳,等. 长山核桃优株坚果性状主成分分析及综合评价[J]. 安徽林业科技,2016,42(6):9-12.
- [9] 苏彦苹,赵 爽,王 明,等. 8 个新疆早实核桃优株坚果品质变异分析及综合评价[J]. 河北农业大学学报,2016,39(3):31-36.
- [10] 于秋香,李 扬,李 颖,等. 基于果实表型的核桃种质资源遗传多样性分析[J]. 华北农学报,2021,36(增刊1):53-61.
- [11] Mirmahdi N S, Khadivi A. Identification of the promising Persian walnut (*Juglans regia* L.) genotypes among seedling-originated trees[J]. Food Science Nutrition, 2021, 9(4):2217-2226.
- [12] 唐 敏,刘紫烟,陈利英,等. 河北太行山区 15 个核桃品种性状综合评价[J]. 西北林学院学报,2022,37(1):137-144.
- [13] 施丽丽. 河北省太行山区核桃主要栽培品种的综合性状评价研究[D]. 保定:河北农业大学,2012:9-10.
- [14] 娄 丽,陈 骏,耿阳阳,等. 贵州野核桃种子的表型多样性分析[J]. 贵州农业科学,2017,45(5):13-15.
- [15] 孟亚楠. 核桃坚果性状遗传特性与优系选择研究[D]. 泰安:山东农业大学,2010:18-19.
- [16] 王中奎,王 超,关法春. 不同产地核桃坚果的综合性状评价[J]. 食品科学,2013,34(15):100-103.
- [17] 高焕章,吴 楚,姜学知,等. 湖北兴山核桃复选优系主要经济性状主成分分析[J]. 湖北农学院学报,2001(3):207-211.
- [18] 杜天宇,胡去非,王相媛,等. 核桃坚果主成分分析及优株筛选研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2018,39(2):34-45.
- [19] 杨梦思,罗莎莎,王如月,等. 水肥耦合效应对核桃属 2 种幼苗抗寒性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):163-175.
- [20] 罗会婷,贾晓东,翟 敏,等. 76 株薄壳山核桃实生单株的果实品质差异及综合评价[J]. 植物资源与环境学报,2017,26(1):47-54.
- [21] 王一峰,王明霞,蹇小勇,等. 成县核桃优树坚果性状的主成分分析与综合评价[J]. 种子,2019,38(3):59-63.
- [22] 黄晓露,赵志珩,李开祥,等. 广西优良核桃单株果实品质差异及综合评价研究[J]. 西南农业学报,2019,32(3):489-494.
- [23] 韦 艺,谢代祖,韦 丹,等. 广西河池市核桃优良单株果实性状分析[J]. 广西林业科学,2020,49(3):420-424.
- [24] 耿树香,宁德鲁,陈海云,等. 我国不同主产区核桃品质综合评价分析[J]. 中国油脂,2020,45(4):97-101.