

材果兼用核桃优良品系(种)综合评价及分析

任艳华¹,刘含笑¹,舒秀阁¹,杨 蕾¹,杜从艳²,
袁小磊³,刘丙花¹,赵登超^{1*},侯立群^{1*}

¹山东省林业科学研究院,济南 250014; ²山东农业大学林学院,山东泰安 271018;

³蓟州区林业产业发展服务中心,天津蓟州 301900)

摘要:【目的】通过对15个核桃优良品系(种)的树体生长和坚果品质指标进行跟踪测定和综合评价,筛选材果兼用的候选优系,以期加快材果兼用核桃新品种的选育。【方法】分别测定各优系的树体结构、年生长量、坚果表型性状和营养成分指标,采用单项指标比较和主成分分析对各优系的材果兼用特性进行综合评价及分析。【结果】HL-1、HL-10、HL-9等5个优系的树体生长特性表现突出。其中,HL-1的树高(13.00 m)、胸径(20.40 cm)及株高年生长量(1.31 m)显著高于对照品种。在坚果品质方面,HL-4、HL-8、HL-3、HL-10等优系表现突出。其中,HL-4以薄壳(0.92 mm)、高出仁率(62.53%)和油酸含量比例(42.19%)特性显著;HL-8以油酸含量比例(36.76%)和高必需氨基酸比例(27.81%)表现突出;HL-3的 α -亚麻酸含量比例(9.71%)以及HL-10的半胱氨酸含量(1.99 mg·g⁻¹)较为突出。【结论】HL-10可作为材果兼用核桃的候选优系,为材果兼用核桃新品种以及核桃良种的选育和推广应用提供重要科学依据。

关键词:核桃;材果兼用;坚果品质;主成分分析;综合评价

中图分类号:S664.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2026)05-1099-11

Integrated assessment of excellent walnut strains (varieties) with timber-nut-dual-purpose

REN Yanhua¹, LIU Hanxiao¹, SHU Xiuge¹, YANG Lei¹, DU Congyan², YUAN Xiaolei³, LIU Binghua¹, ZHAO Dengchao^{1*}, HOU Liqun^{1*}

¹Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, Shandong, China; ²College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; ³Jizhou District Forestry Industry Development Service Center, Jizhou 301900, Tianjin, China)

Abstract: 【Objective】 To expedite the selection of the breeding of new walnut varieties suitable for both timber and fruit uses in China, this study initially screened over 5000 seedlings, followed by further selection to identify 15 excellent walnut strains (varieties). Through long-term monitoring and comprehensive evaluation of tree growth parameters and nut quality traits, excellent walnut strains (varieties) were identified, providing foundational germplasm and scientific support for timber-nut-dual-purpose walnut breeding. 【Methods】 This study established a 10-mu (approx. 0.67 hectares) experimental orchard on the Yellow River alluvial plain in Liaocheng municipality, Shandong Province. A randomized block design was employed. 15 walnut strains grafted on Jizhaomian rootstock were used as the test materials, and cultivars Qinglin (QL), Xiangling (XL) and Qingxiang (QX), served as the controls. Among the excellent walnut strains, HL-1, HL-2 and HL-3 were derived from common walnut (*Juglans regia* L.) seedlings, while HL-4 to HL-15 were selected from QL seedlings. Orchard management followed the established models and complied with relevant national standards. Measured parameters included tree structural characteristics (tree height, diameter at breast height, and basal diameter) and nut traits (external morphological features and internal quality indicators such as protein, fatty acid and ami-

收稿日期:2025-08-14 接受日期:2025-10-27

基金项目:山东省重点研发计划(2024LZGC025);山东省林业科学研究院青年科学基金(KYJJ2025-10);中央引导地方科技发展资金项目(YDZX2023033);济南市十大农业特色产业科技创新项目

作者简介:任艳华,女,工程师,博士,主要研究方向:经济林木育种与分子生物学。E-mail:renyanhua4576@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:zdc-1@163.com;E-mail:Lqhou@163.com

no acid contents). Single-trait comparisons and principal component analysis (PCA) were employed for comprehensive evaluation of the timber-nut-dual-purpose characteristics. **【Results】** The results showed that significant differences were observed among the walnut strains in tree height (10.41–13.06 m), ground diameter (19.14–25.60 cm), and diameter at breast height (15.56–20.40 cm). Among these, HL-1 and HL-10 exhibited significantly higher values across all these traits compared to the other walnut strains and the control. Regarding crown architecture, the east-west crown span (5.46–7.10 m) was consistently and significantly larger than north-south span (4.59–5.85 m), with 9 walnut strains surpassing the controls in crown dimensions. Similarly, crown expansion rates demonstrated a directional trend: east-west growth (0.61–0.88 m/year) exceeded north-south growth (0.32–0.67 m/year). All the tested walnut strains displayed typical smooth shell surfaces with non-exposed kernels and generally prominent, tight suture lines. 78.6% of the walnut strains produced elliptical nuts with pointed apexes, and 85.7% had flat bases. Kernel extraction was difficult for 64.3% of the strains, but relatively easier in HL-4, which had an exceptionally thin shell with a thickness of only 0.92 mm. In accordance with the requirements for selection of elite walnut cultivars specified in the Chinese Forestry Industry Standard (LY/T 3004.2—2018), the single nut weight of all the walnut strains (14.63–24.20 g) met the standard for elite cultivars. Notably, HL-15 (24.20 g) exhibited a 16.3% higher fruit weight compared to QL. Based on the National Standard (GB/T 20398—2021), the kernel recovery of 10 walnut strains exceeded 40%, satisfying the quality requirements for premium walnut nuts. The highest kernel yield rate was 62.53% found in HL-4. Kernel weights across the walnut strains ranged from 6.43 g to 9.95 g. Kernel weight of HL-4 (9.95 g) was 24.38% larger compared to QX (8.00 g). The protein content of all the walnut strains met the standards for elite cultivars. Specifically, HL-11 exhibited a protein content 3.47% higher than XL (194.66 mg · g⁻¹); HL-12 was 0.73% higher than QL (183.74 mg · g⁻¹); and HL-15 1.73% higher compared to QX (179.97 mg · g⁻¹). Five walnut strains, including HL-3, HL-10 and HL-9, had a crude fat content exceeding 600 mg · g⁻¹ meeting the elite cultivar standards. The highest level, 637.11 mg · g⁻¹, was found in HL-3, being 0.48% higher than that of QX (634.07 mg · g⁻¹). The six walnut strains with high kernel recovery contained 17 amino acids. Total amino acid content ranged from 100.58 mg · g⁻¹ (HL-1) to 140.22 mg · g⁻¹ (HL-3), while essential amino acid content ranged from 27.11 mg · g⁻¹ (HL-1) to 39.00 mg · g⁻¹ (HL-3). Among these strains, HL-3, HL-8 and HL-10 exhibited a higher total amino acid content and a higher essential amino acid content compared to XL. Linoleic acid (39.89%–66.81%) was the predominant fat component, with the highest content (64.00%) found in HL-11. The oleic acid content in HL-4 (42.19%) was 2.7 times that of the QX control; HL-3 was rich in α -linolenic acid (9.71%). Comprehensive evaluation using Principal Component Analysis (PCA) on tree growth indicators identified two principal components accounting for a cumulative variance contribution rate of 86.00%, with HL-1, HL-10 and HL-9 achieving the highest comprehensive scores. For nut quality indicators, four principal components yielded a cumulative variance contribution rate of 93.86%, and HL-8, HL-3 and HL-10 attained the highest comprehensive scores. Considering its outstanding performance in both tree growth and nut quality, HL-10 was determined to be an optimal candidate walnut strain for timber-nut dual purposes. **【Conclusion】** Based on the analysis results, it is concluded that HL-10 can be considered as a candidate line for timber-nut-dual-purpose walnut. This study successfully selected excellent walnut strains combining rapid growth with high-quality nut production, providing valuable germplasm resources for industry upgrading.

Key words: Walnut; Timber-nut-dual-purpose; Nut quality; Principal component analysis; Overall evaluation

核桃(*Juglans regia* L.)为胡桃科(*Juglandaceae* DC. ex Perleb)胡桃属(*Juglans*)落叶乔木,广泛分布于北半球温带地区,适应性强^[1]。种仁富含蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿质元素和维生素等营养成分,营养价值极高。核桃木质坚硬、耐磨耐腐蚀性强且稳定性高,是优质的建筑及雕刻原料^[2-3]。传统核桃栽培以坚果生产为目的,通常定干较低,木材利用价值有限;而用材林则专注于培育速生、丰产和优质木材,两者难以实现材果兼收^[4-5]。因此,选育材果兼用核桃品种,并有效结合坚果经济效益和长期木材经济效益,对调整和优化核桃产业品种结构、缓解我国高档木材短缺以及推动核桃产业高质量发展具有重要意义。

目前,我国核桃生产仍以坚果为主。据不完全统计,现有21个核桃国审良种,在生产中使用较多且在有效期的省级审定或认定良种约239个,多以核桃坚果或核桃砧木为选育目标^[4-6]。相比之下,意大利、美国等国家高度重视核桃木材生产,已利用核桃本砧研发出核桃材果兼用型栽培技术^[7]。已有研究以抗逆性强、生长势旺的黑核桃作为砧木,分析了其对嫁接品种的生长势、产量、品质和结果年限等方面的影响^[8-9]。长期以来,我国核桃产业侧重坚果生产,对其优良木材特性开发不足。然而,核桃作为高档木材在我国具有极大的开发价值。

材果兼用核桃是从核桃优良种质资源中选育的核桃优系,通常表现为生长速度快、坚果丰产优质、树体高大、树姿优美、树干通直圆满、材质优良等特性^[10-12]。研究表明,核桃树已应用于道路绿化中。例如,美国加利福尼亚州戴维斯地区已成功将其应用于校园绿化^[13];意大利南部地区也应用于道路绿化及城市公园建设^[14],印证了其在材用价值的可行性和优势。我国部分核桃主产区已开展材果兼用核桃的推广和应用^[15]。近年来,我国的早实核桃因结果早、坚果品质优良得以大面积推广和应用,但在材果兼用核桃的开发利用方面与欧美国家相比仍有很大差距。

本研究于2000年采集青林(QL)及普通核桃优株种子,共繁育核桃实生苗5000余株。经过3年圃地栽培,初步筛选出200株长势良好的苗木,并建立优株初选圃。经过10年选育工作,复选出15个材果兼用型优系。其中,优系1号(HL-1)、优系2号(HL-2)和优系3号(HL-3)选自普通核桃实生苗,优系4

号(HL-4)至优系15号(HL-15)选自青林实生苗。以青林、香玲(XL)和清香(QX)核桃作为对照,其中青林树势生长旺盛,干性强且树姿直立,是兼具经济林和材林双重价值的材果兼用品种;香玲树势中等,分枝力强,其早实性、丰产性和品质优良等特点使其成为我国核桃主产区的重要推广品种;而清香以树势强健、抗逆性强和优质晚实特性著称,是我国改良推广的优质晚实核桃品种^[16]。本研究参照国外建园模式,在平原地建立对比试验园,按照国家相关标准进行管理。通过综合分析比较各优系的树体生长特性及坚果品质特征,筛选出综合性状优良的候选优系,为材果兼用核桃品种的选育提供材料基础和科技支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于山东省聊城市东阿县姚寨镇西庙村(东经116.36°,北纬36.37°)。气候属温带季风气候区,年均气温约13℃,年降水量为550~700mm,年日照时数约2500h,全年无霜期为193~201d。试验地处黄河冲积平原,土壤类型为壤土,pH=7.73,有机质含量(w ,后同)14.45 g·kg⁻¹,土壤碱解氮含量29.41 mg·kg⁻¹,有效磷含量4.98 mg·kg⁻¹,速效钾含量89.20 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计及树体管理

各优系以鸡爪绵核桃为砧木进行嫁接繁育,并以此建立材果兼用核桃优株选育圃,面积约0.67 hm²。试验采取随机区组设计,设置3个重复区组,每个区组内各优系选取4株苗木。按照南北行向定植,株行距为4 m×5 m,每个品系定植12株。园地土、肥、水及树体管理按照一般核桃园管理方法进行,四周定植核桃实生苗作为保护行。

1.3 树体结构参数测定

在2015年—2023年,每年于秋季落叶后测定树体结构指标参数,包括树高、基径和胸径等,使用测高器、胸径尺和皮尺等工具进行现场测量并记录。

1.4 坚果性状指标测定

2023年,采集各优系坚果样品,每个优系随机选取3 kg果实作为坚果指标测定的试验样品。

1.4.1 坚果外形特征及量化标准 坚果外形特征(坚果形状、坚果果顶、坚果基部、核壳表面特征、缝合线特征、取仁难易度、内种皮色泽、种仁饱满度

等)量化标准参照《薄壳山核桃果材兼用林栽培技术规程》(T/LYCY 1027—2021)^[17]和《核桃坚果质量等级》(GB/T 20398—2021)^[18]。

1.4.2 坚果营养品质指标测定方法 采用去除青皮后自然风干的果实测定坚果营养品质指标。使用千分之一电子天平称量单果质量和果仁质量,并计算出仁率;采用索氏抽提法测定核仁粗脂肪含量;采用气相色谱法测定核仁的脂肪酸组成;采用凯氏定氮法测定核仁蛋白质含量;采用氨基酸自动分析仪测定核仁的氨基酸组成。

1.5 数据分析

采用Excel软件整理数据,利用SPSS 22软件进行各优系之间的差异显著性(Duncan检验)分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 树体结构参数

各优系的树体结构参数呈现显著差异(表1),树高、基径和胸径变化范围分别为10.41~13.06 m、19.14~25.60 cm和15.56~20.40 cm。其中,HL-1和

HL-10在树高、基径和胸径上均显著大于其他优系及对照。冠幅作为评价核桃材用价值的重要间接指标,其空间分布特征显示东西冠幅(5.46~7.10 m)普遍大于南北冠幅(4.59~5.85 m)。HL-1、HL-6、HL-7、HL-8、HL-9、HL-10等9个优系的的东西冠幅大于对照;HL-6、HL-8、HL-9、HL-10等7个优系的南北冠幅大于对照。

2.2 树体年生长量

年生长量作为评价材用型核桃的核心生物学指标,与木材蓄积量、材质特征及经济价值呈现显著正相关。由表2可知,各优系株高生长表现突出,HL-1和HL-9的株高年生长量最大(1.31 m),其次为HL-3和HL-14(1.28 m);除HL-6外,其余14个优系的株高年生长量均大于对照品种青林、清香和香玲。所有优系基径(1.84~2.53 cm)及胸径(1.57~2.22 cm)年生长量均大于香玲,其中HL-1的基径和胸径年生长量最大,HL-12最小。HL-1、HL-8、HL-9、HL-10等7个优系的基径和胸径年生长量均大于青林,其中6个优系同时大于清香,展现出优异的径向生长能力。各优系的冠幅年生长量存在显著差异,东西冠

表1 不同优良品系(种)树体结构参数(2015—2023年)

Table 1 Tree structure parameters of different walnut strains (cultivars) (2015 to 2023 year)

优系(种) Excellent strains (species)	树高 Tree height/m	基径 Base diameter/cm	胸径 Diameter at breast height/cm	东西冠幅 East-west crown breadth/m	南北冠幅 North-south crown breadth/m
HL-1	13.00±0.01 a	25.60±0.00 a	20.40±0.00 a	7.10±0.00 a	5.00±0.00 abc
HL-2	11.70±0.44 bc	21.30±1.44 cde	16.81±1.07 de	5.46±0.59 d	4.82±0.14 bc
HL-3	11.97±0.58 b	20.04±1.30 de	16.69±1.05 de	6.07±0.83 abcd	5.00±0.40 abc
HL-4	10.54±1.21 c	20.33±1.22 de	16.85±0.94 de	5.49±0.43 cd	4.63±0.49 cd
HL-5	11.55±0.56 bc	21.07±2.26 cde	16.66±1.88 de	5.72±0.82 bcd	4.59±0.45 cd
HL-6	11.25±0.25 bc	20.50±2.00 de	17.00±1.50 de	6.50±1.00 abcd	5.85±0.65 a
HL-7	11.94±0.45 b	21.06±1.07 cde	16.34±0.91 de	6.35±0.33 abcd	4.93±0.25 abc
HL-8	12.00±0.63 b	21.95±1.56 cd	17.55±0.99 cde	6.56±0.44 abc	5.64±0.80 ab
HL-9	12.39±0.68 b	22.08±1.89 cd	18.40±1.47 bcd	6.73±0.65 ab	5.63±1.13 ab
HL-10	13.06±1.17 a	25.14±1.80 ab	20.08±1.34 ab	6.88±0.36 a	5.47±0.70 abc
HL-11	11.66±0.29 bc	23.16±0.91 bc	19.31±1.76 bc	6.05±0.56 abcd	5.36±0.56 abc
HL-12	10.41±1.02 c	19.14±2.25 e	15.56±1.89 e	6.35±1.09 abcd	4.97±0.51 abc
HL-13	12.10±0.42 b	20.75±1.95 cde	16.94±1.60 de	6.30±0.56 abcd	4.99±0.21 abc
HL-14	12.10±0.78 b	21.80±1.74 cd	17.24±1.02 de	6.29±0.65 abcd	5.06±0.72 abc
HL-15	11.31±0.98 bc	20.46±1.91 de	16.36±1.05 de	6.10±0.75 abcd	5.09±0.43 abc
青林Qinglin (QL)	11.37±1.64 bc	20.43±1.45 de	17.29±1.84 de	6.22±0.73 abcd	5.02±0.81 abc
清香Qingxiang (QX)	11.31±0.94 bc	22.08±1.52 cd	17.21±1.12 de	5.58±0.86 cd	4.86±0.52 bc
香玲Xiangling (XL)	8.00±0.60 d	15.14±0.92 f	12.25±0.89 f	3.85±0.61 e	3.85±0.56 d

注:采用Duncan检验进行多重比较($P<0.05$)以确定不同优系间的显著性水平,不同小写字母代表组间具有显著差异性。下同。

Note: Duncan's test was adopted for multiple comparisons to determine the significance level among different excellent strains (species), and different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) between groups. The same below.

表2 不同优良品系(种)树体年生长量(2015—2023年)

Table 2 Annual increments of tree growth parameters for different walnut strains (cultivars) (2015 to 2023 year)					
优系(种) Excellent strains (species)	株高年生长量 Annual height increment/m	基径年生长量 Annual basal diameter increment/cm	胸径年生长量 Annual diameter increment at breast height/cm	东西冠幅年生长量 Annual east-west crown width increment/m	南北冠幅年生长量 Annual north-south crown width increment/m
HL-1	1.31	2.53	2.22	0.88	0.60
HL-2	1.12	2.05	1.94	0.61	0.42
HL-3	1.28	1.94	1.76	0.75	0.44
HL-4	1.15	1.96	1.75	0.72	0.37
HL-5	1.22	2.08	1.77	0.73	0.37
HL-6	1.04	1.95	1.81	0.77	0.67
HL-7	1.20	2.07	1.78	0.72	0.35
HL-8	1.18	2.17	1.87	0.78	0.51
HL-9	1.31	2.16	1.91	0.83	0.50
HL-10	1.27	2.47	2.07	0.82	0.40
HL-11	1.21	2.29	2.14	0.68	0.45
HL-12	1.11	1.84	1.57	0.70	0.32
HL-13	1.26	2.04	1.78	0.80	0.40
HL-14	1.28	2.15	1.86	0.71	0.36
HL-15	1.25	2.03	1.75	0.73	0.43
青林QL	1.08	1.92	1.81	0.79	0.37
清香QX	1.10	2.11	1.83	0.69	0.50
香玲XL	0.88	1.37	1.19	0.42	0.38

幅年生长量(0.61~0.88 m)普遍大于南北冠幅(0.32~0.67 m)。其中,HL-1的东西冠幅年生长量最大,HL-6的南北冠幅年生长量最大;HL-1、HL-9、HL-10和HL-13的东西冠幅年生长量大于青林,HL-1、HL-6、和HL-8的南北冠幅年生长量大于清香。

2.3 坚果外部形态特征

各优系均具备壳皮表面光滑、种仁不外露的典型特征,缝合线普遍凸起紧实(表3)。78.57%优系的果实为椭圆形、尖顶,21.43%优系的果实为圆形(HL-1、HL-2和HL-11)、平顶(HL-1、HL-5和HL-11)。85.71%优系的基部形态为平底,HL-3为尖底,HL-4为圆底。HL-3的缝合线紧实程度较低,但其果仁脱壳难度较大。种仁易取性分级显示,64.29%优系取仁困难,而HL-4、HL-5、HL-7、HL-10和HL-12优系则取仁相对容易。78.57%优系的种仁饱满、果仁内种皮浅黄色,21.43%优系的种仁较为饱满(HL-3、HL-4、HL-7)、内种皮颜色为黄褐色(HL-3、HL-4和HL-5)。

2.4 坚果核仁营养品质分析

各优系和对照品种的单果质量(14.20~24.20 g)均达到核桃坚果质量等级(GB/T 20398—2021)^[18]中核桃良种的选育要求(表4)。其中,HL-15(24.20 g)

和HL-5(22.81 g)的单果质量高于青林(20.82 g),分别提高了16.32%和9.56%;HL-11、HL-6、HL-1等8个优系的单果质量介于清香(16.43 g)和青林之间;HL-4、HL-13、HL-12等5个优系的单果质量则介于香玲(14.20 g)与清香之间。各优系果仁质量介于6.43~9.95 g之间。其中,HL-4(9.95 g)、HL-5(8.82 g)和HL-1(8.14 g)分别较清香(8.00 g)提高了24.38%、10.25%和1.75%。对照品种青林(7.34 g)和香玲(7.30 g)果仁质量相近。此外,HL-2、HL-15、HL-8等5个优系果仁质量低于清香,但高于青林和香玲。依据GB/T 20398—2021^[18],HL-4、HL-14、HL-12等10个优系的出仁率高于40%,达到优质核桃坚果质量要求。其中,HL-4(62.53%)最高,其余9个优系介于40.55%~44.88%之间。各优系壳厚度介于0.92~2.41 mm之间。其中,HL-6、HL-11、HL-15等5个优系的壳厚度高于对照品种青林;HL-2、HL-10、HL-12等8个优系的壳厚度低于青林,但高于对照品种清香和香玲;HL-4壳厚仅为0.92 mm,均显著低于3个对照品种,可作为优质薄壳核桃的候选种质资源。

蛋白质与粗脂肪含量作为核桃营养品质的核心评价指标,其直接影响产品的加工适性及经济价值。如表4所示,各优系的蛋白质含量均高于150 mg·g⁻¹,

表3 不同优良品系(种)坚果外部形态特征

Table 3 The external morphological characteristics of different walnut strains (cultivars)

优系(种) Excellent strains (species)	核果果形 Drupe shape			核壳表面特征 Core-shell surface characteristics		缝合线 Stylolite		取仁难易 Kernel Removal Difficulty Rating	内种皮 色泽 Inner Seed Coat Color	种仁 饱满度 Kernel Plumpness
	形状 Shape	果顶 Apex	基部 Base	露仁类型 kernel-exposed	光滑程度 Surface smoothness	平或凸 Flat or raised	紧实程度 Tightness			
HL-1	R	B	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-2	R	P	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-3	O	P	Po	NE	S	Ra	L	D	YB	MPI
HL-4	O	P	Ro	NE	S	Ra	T	Ea	YB	MPI
HL-5	O	B	Bl	NE	S	Ra	T	Ea	YB	Pl
HL-6	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-7	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	Ea	LY	MPI
HL-8	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-10	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	Ea	LY	Pl
HL-11	R	B	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-12	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	Ea	LY	Pl
HL-13	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-14	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl
HL-15	O	P	Bl	NE	S	Ra	T	D	LY	Pl

注:核果形状:圆形(R)和椭圆形(O);核果果顶:尖(P)和平(B);核果基部:尖(Po)、平(Bl)和圆(Ro);核果露仁类型:露仁(E)和不露仁(NE);核果表面光滑程度:光滑(S)和粗糙(Ru);核果缝合线:平(F)和凸(Ra);核果缝合线紧实程度:紧(T)和松(L);取仁难易程度分为:困难(D)和容易(Ea);内种皮颜色:黄褐色(YB)和浅黄色(LY);种仁的饱满程度分为:饱满(Pl)和较为饱满(MPI)。

Note: The shape of drupes: round (R) and oval (O); The apex of drupes: pointed (P) and blunt (B); The base of drupes: pointed (Po), blunt (Bl), and rounded (Ro); The kernel exposure type: exposed (E) and not exposed (NE); The surface smoothness: smooth (S) and rough (Ru); The drupe suture line: flat (F) and raised (Ra); The suture tightness of drupe: tight (T) and loose (L); The ease of kernel extraction: difficult (D) and easy (Ea); The inner seed coat color: yellowish brown (YB) and light yellow (LY); The kernel plumpness: plump (Pl) and moderately plump (MPI).

达到良种标准。其中HL-11(201.43 mg·g⁻¹)和HL-6(195.08 mg·g⁻¹)的蛋白质含量相对较高,较香玲(194.66 mg·g⁻¹)分别提高3.47%和0.21%;HL-12(185.08 mg·g⁻¹)和HL-14(185.73 mg·g⁻¹)的蛋白质含量较青林(183.74 mg·g⁻¹)分别提高0.73%和0.54%;HL-3(180.51 mg·g⁻¹)和HL-15(183.09 mg·g⁻¹)的蛋白质含量较清香(179.97 mg·g⁻¹)分别提高0.30%和1.73%。HL-3、HL-10、HL-9等5个优系的粗脂肪含量高于600 mg·g⁻¹,达到良种标准。其中,HL-3的粗脂肪含量最高(637.09),较清香(634.07 mg·g⁻¹)提高0.48%。

氨基酸含量是衡量核桃坚果营养品质和功能特性的核心指标。基于树体生长指标与坚果营养品质性状的综合评价结果,筛选出6个综合性状优异的优系,并对其氨基酸组成进行分析,以清香和香玲作为对照(青林取仁较难)。如表5所示,各优系总氨基酸含量介于100.58~140.22 mg·g⁻¹之间,其中HL-3、HL-8和HL-10优系高于香玲(132.19 mg·g⁻¹)。进

一步对氨基酸组成分析发现,各优系均含有17种氨基酸,包括苏氨酸、缬氨酸和蛋氨酸等7种必需氨基酸以及天冬氨酸、丝氨酸和谷氨酸等10种非必需氨基酸。在必需氨基酸组分中,亮氨酸含量最高(6.40~10.56 mg·g⁻¹),其次是苯丙氨酸(4.28~6.75 mg·g⁻¹)和缬氨酸(5.11~6.60 mg·g⁻¹)。必需氨基酸含量及比例决定了各优系的生物学价值。各优系的必需氨基酸含量介于27.11~38.99 mg·g⁻¹之间,占比介于25.30%~27.81%之间。其中,HL-3、HL-8、HL-13、HL-4、HL-1等5个优系的必需氨基酸比例高于清香(26.85%)和香玲(25.85%)。非必需氨基酸组分存在差异,谷氨酸含量最高(23.14~33.83 mg·g⁻¹),其次是精氨酸(13.49~18.70 mg·g⁻¹)和天冬氨酸(10.43~14.06 mg·g⁻¹)。值得注意的是,HL-10和HL-1优系的半胱氨酸含量高于其他优系以及对照,显示出独特的氨基酸组分特征。

脂肪酸组成是决定核桃坚果营养品质、加工特性和经济价值的关键指标。分析发现(表6),各优系

表4 不同优良品系(种)坚果营养品质性状

Table 4 The nutrient quality traits of different walnut strains (cultivars)

优系(种) Excellent strains (species)	单果质量 Single fruit mass/g	果仁质量 Kernel mass/ g	壳厚 Shell thickness/ mm	出仁率 Kernel ratio/ %	w(蛋白质) Protein content/ (mg·g ⁻¹)	w(粗脂肪) Crude fat content/ (mg·g ⁻¹)
HL-1	18.94±0.93 cd	8.14±0.37 bc	1.89±0.17 de	43.22±4.23 cd	157.21±0.82 l	506.98±0.09 q
HL-2	18.65±0.38 cde	7.71±0.89 cdef	2.01±0.12 cde	42.70±1.71 cd	177.75±0.85 g	538.00±0.53 n
HL-3	15.32±0.66 hij	6.69±0.34 fgh	1.96±0.08 de	43.63±0.33 cd	180.51±0.11 f	637.09±0.48 b
HL-4	15.91±0.10 fghi	9.95±0.22 a	0.92±0.05 g	62.53±1.00 a	164.07±0.99 k	522.67±0.75 p
HL-5	22.81±1.16 a	8.82±0.79 b	2.26±0.14 abc	38.54±1.62 efg	174.68±0.97 h	582.86±0.19 i
HL-6	19.05±0.90 cd	6.72±0.21 efgh	2.41±0.16 a	35.29±0.69 gh	195.08±0.70 b	545.30±0.86 m
HL-7	18.36±0.31 de	7.74±0.28 cdef	1.74±0.14 e	42.18±1.86 cde	165.59±0.30 j	573.18±0.62 l
HL-8	17.48±0.35 def	7.79±0.07 cde	1.87±0.06 de	44.55±0.73 cd	164.04±0.22 k	590.43±0.26 h
HL-9	18.92±1.11 cd	7.05±0.56 defgh	2.30±0.09 ab	37.88±0.24 fg	170.46±0.96 i	608.50±0.69 f
HL-10	17.12±0.57 efg	7.59±0.33 cdefg	2.02±0.06 cd	44.33±0.43 cd	190.26±0.39 c	615.75±0.20 e
HL-11	20.19±0.98 bc	7.03±0.58 defgh	2.35±0.05 a	34.78±1.88 gh	201.43±0.94 a	534.79±0.29 o
HL-12	15.63±0.46 ghij	7.01±0.33 defgh	2.07±0.12 bcd	44.85±2.05 c	185.08±0.61 d	602.77±0.24 g
HL-13	15.83±0.27 fghij	6.43±0.43 h	2.29±0.19 ab	40.55±2.06 def	158.54±0.55 l	608.43±0.80 f
HL-14	14.63±0.42 ij	6.56±0.15 gh	1.93±0.03 de	44.88±0.52 c	185.73±0.96 d	577.18±0.61 j
HL-15	24.20±0.24 a	7.92±0.20 bcd	2.32±0.09 ab	32.72±0.49 h	183.09±0.13 e	574.00±0.22 k
青林QL	20.82±1.11 b	7.34±0.45 cdefgh	2.26±0.08 abc	35.22±0.29 gh	183.74±0.09 e	629.10±0.98 d
清香QX	16.43±0.10 fgh	8.00±0.44 bcd	1.37±0.06 f	48.66±2.01 b	179.97±0.09 f	634.07±0.81 c
香玲XL	14.20±0.23 j	7.30±0.08 cdefgh	1.17±0.05 f	51.44±1.09 b	194.66±0.16 b	641.28±0.41 a

均以不饱和脂肪酸为主,主要包括亚油酸(39.89%~9.71%)、棕榈烯酸(0.05%~1.78%)和花生烯酸(64.00%)、油酸(17.52%~42.19%)、 α -亚麻酸(3.79%~(0.08%~0.16%)。其中,亚油酸为核心脂肪酸组分,

表5 不同优良品系(种)坚果氨基酸组成

Table 5 The amino acid composition of different walnut strains (cultivars)

氨基酸组成 Amino acid composition	优系(种) Excellent strains (species)							
	HL-1	HL-3	HL-4	HL-8	HL-10	HL-13	清香QX	香玲XL
w(苏氨酸)Threonine content/(mg·g ⁻¹)	3.78	4.97	4.77	4.91	4.73	5.10	4.86	4.67
w(缬氨酸)Valine content/(mg·g ⁻¹)	5.11	6.51	5.90	6.60	5.99	6.22	6.67	5.69
w(蛋氨酸)Methionine content/(mg·g ⁻¹)	0.86	1.05	0.90	0.98	1.11	0.78	1.01	1.15
w(亮氨酸)Leucine content/(mg·g ⁻¹)	6.40	10.56	8.83	10.50	8.96	9.54	10.70	8.80
w(异亮氨酸)Isoleucine content/(mg·g ⁻¹)	3.61	5.37	4.75	5.46	4.58	4.92	5.58	4.60
w(苯丙氨酸)Phenylalanine content/(mg·g ⁻¹)	4.28	6.75	5.97	6.44	5.74	6.25	6.68	5.78
w(赖氨酸)Lysine content/(mg·g ⁻¹)	3.07	3.78	3.86	3.84	3.45	3.44	3.94	3.48
w(天冬氨酸)Aspartic acid content/(mg·g ⁻¹)	10.43	14.06	13.19	13.94	13.32	13.82	13.96	13.22
w(丝氨酸)Serine content/(mg·g ⁻¹)	5.14	6.90	6.32	6.84	6.84	6.53	7.08	6.83
w(谷氨酸)Glutamic acid content/(mg·g ⁻¹)	23.14	31.68	30.21	33.01	33.83	30.08	36.23	32.69
w(甘氨酸)Glycine content/(mg·g ⁻¹)	4.54	7.51	6.18	7.20	6.22	7.17	7.46	5.80
w(丙氨酸)Alanine content/(mg·g ⁻¹)	4.25	6.38	5.49	6.27	5.68	6.05	6.51	5.34
w(半胱氨酸)Cysteine content/(mg·g ⁻¹)	1.94	1.72	1.25	1.48	1.99	1.37	1.72	1.34
w(酪氨酸)Tyrosine content/(mg·g ⁻¹)	2.84	4.05	3.73	4.03	3.66	3.70	4.26	3.75
w(组氨酸)Histidine content/(mg·g ⁻¹)	2.67	3.78	3.55	3.68	3.36	3.68	3.83	3.24
w(精氨酸)Arginine content/(mg·g ⁻¹)	13.49	18.65	17.71	18.70	18.21	17.24	19.71	16.90
w(脯氨酸)Proline content/(mg·g ⁻¹)	5.03	6.50	7.07	5.69	8.91	5.39	6.70	8.91
w(氨基酸总和)Total amino acid/(mg·g ⁻¹)	100.58	140.22	129.68	139.57	136.58	131.28	146.90	132.19
w(必需氨基酸)Essential amino acid content/(mg·g ⁻¹)	27.11	38.99	34.98	38.73	34.56	36.25	39.44	34.17
必需氨基酸比例 Essential amino acid ratio/%	26.95	27.81	26.97	27.75	25.30	27.61	26.85	25.85

表 6 不同优良品系(种)坚果脂肪酸组成

Table 6 The fatty acid composition of different walnut strains (cultivars)

脂肪酸组成 Fatty acid composition	优系(种) Excellent strains (species)							
	HL-1	HL-3	HL-4	HL-8	HL-10	HL-13	清香QX	香玲XL
w(棕榈酸)Palmitic acid content/%	5.79	5.49	8.33	9.13	8.23	5.12	6.00	6.12
w(棕榈烯酸)Palmitoleic acid content/%	1.78	0.06	0.10	0.24	0.40	0.05	0.09	0.08
w(硬脂酸)Stearic acid content/%	2.83	3.23	4.66	4.93	3.66	2.87	3.22	2.88
w(油酸)Oleic acid content/%	20.35	17.52	42.19	36.76	27.40	20.93	15.81	19.50
w(亚油酸)Linoleic acid content/%	60.93	63.91	39.89	44.99	55.50	64.00	66.81	63.66
w(α -亚麻酸) α -Linolenic acid content/%	8.23	9.71	4.69	3.79	4.72	6.95	7.99	7.68
w(花生烯酸)Arachidonic acid content/%	0.09	0.08	0.14	0.16	0.09	0.08	0.08	0.08

HL-13和HL-3的含量相对较高,分别为64.00%和63.91%,与香玲(63.66%)相近。各优系的油酸含量存在差异,HL-4(42.19%)和HL-8(36.76%)表现出高油酸特性,两个优系的油酸含量分别为对照品种清香(15.81%)的2.67倍和2.33倍。 α -亚麻酸作为重要的 ω -3脂肪酸,在HL-3(9.71%)和HL-1(8.23%)中含量较高,优于其他优系和对照。饱和脂肪酸包括棕榈酸(5.12%~9.13%)和硬脂酸(2.83%~4.93%)。其中,HL-8、HL-10和HL-4的棕榈酸和硬脂酸含量均高于对照品种,而HL-1和HL-13则低于对照品种。

2.5 不同优系的主成分分析及综合评价

利用主成分分析法对各优系及对照品种的农艺性状进行综合评估,选择特征根大于1的主成分进行下一步分析。由表7可知,树体生长指标中2个主成分的累计方差贡献率为86.00%,载荷量较大的指标为树高、树高年生长量、基径等。坚果品质指标中有4个主成分的特征根大于1,累计方差贡献率为94.772%,载荷量较大的指标为精氨酸含量、酪氨酸含量、天冬氨酸含量等。

表 7 不同优良品系(种)主成分分析

Table 7 The principal component analysis of different elite strains (cultivars)

指标 Index	主成分 Principal component	特征根 Eigen-value	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
树体生长指标 Tree growth metrics	1	7.48	74.81	74.81
	2	1.12	11.19	86.00
坚果品质指标 Nut quality metrics	1	14.957	53.416	53.416
	2	6.65	23.752	77.168
	3	3.225	11.517	88.685
	4	1.704	6.087	94.772

通过主成分初始载荷量以及性状指标标准化

值,计算不同优系的主成分值和各优系的综合得分。由表8~9可知,树体指标综合得分较高的优系为HL-1、HL-10、HL-9、HL-11和HL-14,坚果品质指标综合得分较高的优系为HL-8、HL-3、HL-10和HL-4。综合树体生长指标和坚果品质指标,HL-10可作为材果兼用型核桃的最佳候选优系。

表 8 不同优良品系(种)树体生长指标主成分值和综合得分

Table 8 The principal component values and comprehensive scores of growth indicators of different walnut strains (cultivars)

优系(种) Excellent strains (species)	主成分值 PC1	主成分值 PC2	综合得分 Overall score
HL-1	1.42	0.94	1.16
HL-2	-0.20	-0.31	-0.18
HL-3	0.07	-0.27	0.02
HL-4	-0.27	-0.77	-0.29
HL-5	0.21	-1.07	0.04
HL-6	-1.13	3.04	-0.51
HL-7	0.28	-0.84	0.12
HL-8	0.08	1.13	0.19
HL-9	0.61	0.74	0.54
HL-10	1.54	-0.17	1.13
HL-11	0.56	0.25	0.45
HL-12	-0.55	-0.65	-0.49
HL-13	0.37	-0.50	0.22
HL-14	0.63	-0.90	0.37
HL-15	-0.04	-0.18	-0.05
青林QL	-0.14	-0.13	-0.12
清香QX	-0.37	0.47	-0.22
香玲XL	-3.07	-0.79	-2.38

3 讨 论

3.1 树体生长特征与材用潜力

核桃材质优良,选育材果兼用优良品种是核桃的重要育种目标之一^[19]。研究表明,树高、胸径和基

表9 不同优良品系(种)坚果品质指标主成分值和综合得分
Table 9 The principal component values and comprehensive scores of principal components of different walnut strains (cultivars)

优系(种) Excellent strains (species)	主成分值 PC1	主成分值 PC2	主成分值 PC3	主成分值 PC4	综合得分 Overall score
HL-1	-1.98	-0.38	-0.93	0.97	-1.19
HL-3	0.82	-0.93	-0.03	0.11	0.23
HL-4	-0.27	1.60	-0.31	-1.21	0.11
HL-8	0.83	1.35	-0.49	0.63	0.74
HL-10	-0.20	0.39	1.42	1.05	0.21
HL-13	0.35	-0.89	-1.26	-0.95	-0.22
清香QX	1.05	-0.59	0.11	0.70	0.48
香玲XL	-0.60	-0.56	1.48	-1.30	-0.36

径等树体生长特征是评价核桃材用潜力的重要指标,其生长量与树体光合作用、养分竞争力密切相关^[20-21]。树高反映了树体在垂直方向上的生长潜力,较高的树体能够占据更优的生态位,获取更多光照资源,从而有效降低竞争压力并提高生长速率。胸径和基径的年生长速率则直接反映了核桃木的生长速率及其材用潜力。在材用林中,速生树种能更快地达到采伐标准,缩短轮伐期,提高经济效益^[22]。本研究结果表明,参试优系除HL-6外,其余14个优系的株高年生长量均高于3个对照。HL-1、HL-10、HL-11等7个优系的胸径年生长量显著高于青林,较国内首个核桃果材兼用型新品种鲁核1号提高50%以上^[19],表现出较高的纵向和径向生长速率,具有较大的材用潜力。各优系的冠幅空间分布特征呈现东西冠幅(5.46~7.10 m)普遍大于南北冠幅(4.82~5.85 m),其中HL-1、HL-9等优系的冠幅年生长量显著高于对照,展现出更强的光合生产能力与木材蓄积潜力,值得后续深入研究。本研究所选优系的生长特性与材用林的速生需求高度契合,相较于传统以果用为主的品种在木材生长方面缓慢的特点,本研究结果进一步证实了材果兼用核桃在材用价值开发方面的可行性^[15,23]。

3.2 坚果品质的多样性与营养功能特性

在坚果性状方面,出仁率是评价核桃坚果品质的重要指标之一。HL-4的出仁率高达62.53%且壳厚仅0.92 mm,符合薄壳核桃市场需求(GB/T 20398—2021),较王翠香等^[24]选育的核桃新品种鲁莱1号的壳厚降低34.29%,而出仁率提升33.89%,

优势明显。单果质量是衡量核桃大小的重要指标,HL-5单果质量达22.81 g,较吴文丰等^[25]报道的核桃优株单果质量提高5.50%,较大型果元林核桃单果质量提高36.59%^[26],较国内首个核桃果材兼用型新品种鲁核1号提高72.80%^[19]。此外,HL-11、HL-16、HL-10等7个优系的蛋白质含量较鲁核1号提高2.86%^[19]以上。

为深入解析坚果的核心营养功能成分,本研究基于多年的树体生长与坚果营养品质性状测定结果,筛选出6个综合性状优异的优系,重点对其氨基酸与脂肪酸组分及含量进行测定。棕榈酸和硬脂酸属于饱和脂肪酸,HL-8、HL-4和HL-10优系的两种饱和脂肪酸含量均高于对照品种,显著高于卢璐等^[27]报道的陕西省特异核桃品种的饱和脂肪酸含量。HL-4油酸含量(42.19%)较对照清香(15.81%)提高2倍以上,接近山核桃熟果(46.8 mg·g⁻¹);而HL-3的 α -亚麻酸含量(9.71%)则较香玲(7.68%)提高26.43%,并且远超大豆(3.92%)和菜籽(6.48%),这表明核桃适合作为亚麻酸的重要补充来源^[28]。HL-1的棕榈烯酸含量(1.78%)符合低饱和脂肪酸(棕榈酸含量<5.12%)的标准,凸显其营养独特性。氨基酸含量显示,HL-3(苯丙氨酸6.75 mg·g⁻¹,天冬氨酸14.06 mg·g⁻¹,甘氨酸7.51 mg·g⁻¹)、HL-13(苏氨酸5.10 mg·g⁻¹)、HL-10(半胱氨酸1.99 mg·g⁻¹,脯氨酸8.91 mg·g⁻¹)的蛋白质生物学价值高于对照。以上优异的营养特性为坚果深加工与高附加值健康食品的开发提供了优越的原料基础^[26]。

3.3 材果兼用优系的综合筛选

在种质资源评价、新品种选育以及生产实践中,综合评价方法发挥了重要作用^[29]。本研究利用主成分分析法对各优系树体生长指标和坚果品质指标进行综合评价,将多个指标转化为综合指标,进而得出较为全面客观的评价结果,该方法广泛应用于多样品、多指标的综合分析^[30]。研究表明,树体生长指标转化为2个主成分并建立综合评价模型,筛选出HL-1、HL-10、HL-9等5个树体生长综合得分较高的优系,表明其具有突出的材用潜力;坚果品质指标转化为4个主成分并建立综合评价模型,筛选出HL-8、HL-3、HL-10和HL-4等4个坚果品质综合得分较高的优系,表明其具有较大的果用潜力。HL-10优系在树体生长与坚果品质方面均表现优异,因此可作为材果兼用型核桃的候选优系。

新品种材用与果用的有机结合,是推动核桃产业提质增效的重要方向。本研究筛选出的HL-10等材果兼用型优系,实现了木材速生与优质坚果的协同提升,极大提高了土地利用效率和经济效益。

4 结 论

通过综合评价15个核桃优系的树体生长发育特性和坚果品质特征,筛选出HL-10作为材果兼用核桃的候选优系。HL-10优系在树体生长和坚果品质方面均表现突出,兼具速生丰产潜力与优良营养价值。该研究为材果兼用核桃新品种的选育与推广提供了重要的科学依据。

参考文献 References:

- [1] 赵中振,周梦佳,刘靖. 核桃[J]. 生命世界,2022,8:24-25.
ZHAO Zhongzhen, ZHOU Mengjia, LIU Jing. Walnuts[J]. Life World, 2022, 8: 24-25.
- [2] 常君,任华东,姚小华,杨水平,张潇丹,张成才,王开良. 41个薄壳山核桃品种果实营养成分与脂肪酸组成的比较分析[J]. 西南大学学报(自然科学版),2021,43(2):20-30.
CHANG Jun, REN Huadong, YAO Xiaohua, YANG Shuiping, ZHANG Xiaodan, ZHANG Chengcai, WANG Kailiang. A comparative analysis of nutritional components and fatty acid composition of 41 pecan varieties[J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2021, 43(2): 20-30.
- [3] 左继林,贺义昌,黄建建,翟敏,翟茂根. 江西薄壳山核桃果实经济性状的研究[J]. 江西农业学报,2022,34(7):23-27.
ZUO Jilin, HE Yichang, HUANG Jianjian, ZHAI Min, ZHAI Maogen. Research on fruit morphology and economic characteristics of *Carya illinoensis* in Jiangxi[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2022, 34(7): 23-27.
- [4] 马庆国,乐佳兴,宋晓波,周晔,裴东. 新中国果树科学研究70年:核桃[J]. 果树学报,2019,36(10):1360-1368.
MA Qingguo, LE Jiaying, SONG Xiaobo, ZHOU Ye, PEI Dong. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Walnut[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1360-1368.
- [5] 赵宝军,张俊佩,刘枫,贺有超,宫永红,王丽云. 我国核桃属植物新品种权保护现状及展望[J]. 中国果树,2022(12):74-77.
ZHAO Baojun, ZHANG Junpei, LIU Feng, HE Youchao, GONG Yonghong, WANG Liyun. Current situation and prospect of the protection of new variety rights of *Juglans* plants in China[J]. China Fruits, 2022(12): 74-77.
- [6] 中国林业信息网[OL]. [2025-09-21]. <http://lygc.lknet.ac.cn/search/searchAction!list.action>.
China Forestry Information Network[OL]. [2025-09-21]. <http://lygc.lknet.ac.cn/search/searchAction>.
- [7] CAMBRIA D, PIERANGELI D. A life cycle assessment case study for walnut tree (*Juglans regia* L.) seedlings production[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011, 16(9):859-868.
- [8] LI B X, LIU Y Y, ZHANG P, SONG X B, WANG X Y, ZHENG Z M, PEI D. Rootstock of distant hybrid activates transcription factors of scion cultivar to promote growth and yield in walnut[J]. Plant Biotechnology Journal, 2025, 23(10): 4302-4317.
- [9] LIU B H, ZHAO D C, ZHANG P Y, LIU F C, JIA M, LIANG J. Seedling evaluation of six walnut rootstock species originated in China based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265: 109212.
- [10] 王磊,曹亚龙,孟海军,赵伟,张港港,韩轩轩,樊璐,卢战平,董兆斌,王根宪,吴国良. 国内外核桃品种选育研究进展[J]. 果树学报,2022,39(12):2406-2417.
WANG Lei, CAO Yalong, MENG Haijun, ZHAO Wei, ZHANG Ganggang, HAN Xuanxuan, FAN Lu, LU Zhanping, DONG Zhaobin, WANG Genxian, WU Guoliang. Research progress in walnut variety breeding at home and abroad[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(12): 2406-2417.
- [11] 赵登高,高玉娜,侯立群,韩传明,王翠香. 青林核桃半同胞家系坚果性状遗传多样性分析[J]. 西北农业学报,2012,21(11):141-145.
ZHAO Dengchao, GAO Yuna, HOU Liqun, HAN Chuanming, WANG Cuixiang. Studies on genetic diversity of nuts traits in half sib families of *Juglans regia* qinglin[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2012, 21(11): 141-145.
- [12] 侯立群. 材果兼用型核桃新品种‘青林’[J]. 中国果业信息, 2010, 27(4): 55.
HOU Liqun. A new dual-purpose walnut cultivar ‘Qinglin’ for timber and nut production[J]. China Fruit News, 2010, 27(4): 55.
- [13] STERN L K, GRODIN J L, MAURER M S, RUBERG F L, PATEL A R, KHOURI M G, ROTH L R, ARAS M A, BHARDWAJ A, BHATTACHARYA P, BRAILOVSKY Y, DRACHMAN B M, EBONG I A, FINE N M, GAGGIN H, GOPAL D, GRIFFIN J, JUDGE D, KIM P, MITCHELL J, MITTER S S, MOHAN R C, RAMOS H, REYENTOVICH A, SHEIKH F H, SPERRY B, CARTER S, UREY M, VAISHNAV J, VEST A R, KITTLESAN M M, PATEL J K. The cardiac amyloidosis registry study (CARS): Rationale, design and methodology[J]. Journal of Cardiac Failure, 2024, 30(5): 669-678.
- [14] RAIMONDO M, SPINA D, D’AMICO M, DI VITA G, CALIFANO G, CARACCILO F. Taste matters more than origin: An experimental economics study on consumer preferences for native and foreign varieties of walnuts[J]. Food Quality and Preference, 2024, 115: 105106.
- [15] 蒋新正,王锐,李红娟,宋晓波,原双进,王小纪,雷玲. 核桃果材兼用型栽培模式及其在陕西的发展建议[J]. 陕西林业科技, 2024, 52(1): 98-101.

- JIANG Xinzhen, WANG Rui, LI Hongjuan, SONG Xiaobo, YUAN Shuangjin, WANG Xiaoji, LEI Ling. Cultivation mode of walnut in Shaanxi province for nut and timber production[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2024, 52(1):98-101.
- [16] 李渊军,李秀梅,孙振华.清香核桃的引种表现及栽培技术要点[J].落叶果树,2015,47(4):60-61.
- LI Yuanjun, LI Xiumei, SUN Zhenhua. Performance of introduced 'Qingxiang' walnut and key points of cultivation techniques[J]. Deciduous Fruits, 2015, 47(4):60-61.
- [17] 中国林业产业联合会.薄壳山核桃果材兼用林栽培技术规范:T/LYCY 1027—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- China Forestry Industry Federation. Technical regulation for the nut and timber forest cultivation of *Carya illinoensis*: T/LYCY 1027—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [18] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.核桃坚果质量等级:GB/T 20398—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Grade of walnut: GB/T 20398—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [19] 张美勇,徐颖,杨茂林,姜强,尹相美.果材兼用型核桃新品种鲁核1号的选育[J].落叶果树,2001,33(6):3-5.
- ZHANG Meiyong, XU Ying, YANG Maolin, JIANG Qiang, YIN Xiangmei. Breeding of Luhe 1, a new walnut variety providing both nut and wood[J]. Deciduous Fruits, 2001, 33(6):3-5.
- [20] CHUKWU O, OGANA F N, NWATU J U. Comparison of volumes estimated from breast height and stump diameters: Application to *Tectona grandis* Data[J]. Forest Science, 2020, 66(5): 551-555.
- [21] VANCLAY J K. Tree diameter, height and stocking in even-aged forests[J]. Annals of Forest Science, 2009, 66(7):702.
- [22] EKASARI I, KURNIA R. Relationship between tree height-diameter at breast height (DBH) and crown diameter-DBH of fruit trees in bogor botanical gardens[J]. BIO Web of Conferences, 2023, 80:03015.
- [23] 侯立群,王钧毅,赵登超,杨克强,韩传明.材果兼用型核桃新品种'青林'[J].园艺学报,2010,37(2):333-334.
- HOU Liqun, WANG Junyi, ZHAO Dengchao, YANG Keqiang, HAN Chuanming. A new walnut cultivar 'Qinglin' used for wood and fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(2): 333-334.
- [24] 王翠香,孙超,梁燕,乔艳辉,韩传明.核桃新品种'鲁莱1号'[J].园艺学报,2020,47(增刊2):2924-2925.
- WANG Cuixiang, SUN Chao, LIANG Yan, QIAO Yanhui, HAN Chuanming. A new walnut cultivar 'Lulai 1'[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2020, 47(Suppl. 2):2924-2925.
- [25] 吴文丰,王怡,周明玥,王安,别兆荣,刘乐平,陈春芳.湖北秭归核桃优株选择分析[J].湖北林业科技,2024,53(4):23-28.
- WU Wenfeng, WANG Yi, ZHOU Mingyue, WANG An, BIE Zhaorong, LIU Leping, CHEN Chunfang. Analyses and superior-trees selection of *Juglans regia* in Zigui, Hubei[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2024, 53(4):23-28.
- [26] 董富俊,颜岩,刘强远.核桃新品种'元林' '绿香'在邹平地区的引种表现及其早实栽培技术[J].上海农业科技,2023(2):89-91.
- DONG Fujun, YAN Yan, LIU Qiangyuan. Introduction performance and early fruiting cultivation techniques of new walnut varieties 'Yuanlin' and 'Lüxiang' in Zouping area[J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2023(2):89-91.
- [27] 卢璐,赵谡董,毛文静,杨洲,翟梅枝.特异品种核桃坚果品质的综合评价[J].经济林研究,2023,41(1):52-62.
- LU Lu, ZHAO Chendong, MAO Wenjing, YANG Zhou, ZHAI Meizhi. Comprehensive evaluation on nuts quality of peculiar walnut cultivars[J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(1):52-62.
- [28] 邓泽元.我国食用调和油存在的问题和对策探讨[J].中国食品学报,2014,14(5):1-12.
- DENG Zeyuan. Problems of vegetable blend oils in China and countermeasures[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(5):1-12.
- [29] 石文革,许党,李军,李帆,谢先荣,段云洪,张荣贵.薄壳山核桃果实品质综合评价体系构建[J].经济林研究,2022,40(3):96-108.
- SHI Wenge, XU Dang, LI Jun, LI Fan, XIE Xianrong, DUAN Yunhong, ZHANG Ronggui. Construction of comprehensive evaluation system for fruit quality of *Carya cathayensis*[J]. Non-wood Forest Research, 2022, 40(3):96-108.
- [30] 杜天宇,胡去非,王相媛,白茹雪,赵宝伟,翟梅枝.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.
- DU Tianyu, HU Qufei, WANG Xiangyuan, BAI Ruxue, ZHAO Baowei, ZHAI Meizhi. The studies on walnut principal component analysis and superior variety selection[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2018, 39(2):34-45.