



魏琴,常月梅,高俊仙,等.鲜食核桃‘礼品2号’采收期研究[J].江西农业大学学报,2024,46(5):1172–1185.
WEI Q,CHANG Y M,GAO J X,et al.Study on harvest period of fresh walnut ‘Lipin No.2’[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2024,46(5):1172–1185.

鲜食核桃‘礼品2号’采收期研究

魏 琴¹,常月梅²,高俊仙²,李永琛²,郝燕燕^{1*}

(1.山西农业大学 园艺学院,山西 晋中 030801;2.山西省林业和草原科学研究院,山西 太原 030012)

摘要:【目的】针对鲜食核桃早采品质低下造成资源浪费问题。探究鲜核桃果实不同生育期各项品质指标的动态变化,并对综合品质进行分析与评价,可明确其生长发育规律并提出适宜的鲜食采收期,为鲜食核桃适时采收及资源利用等提供参考依据。【方法】试验以山西翼城县的‘礼品2号’鲜食核桃品种为试验材料,分别在花后82,92,102,112,123,133 d时采样,共计6次。采后果实品质指标含量的测定采用分光光度计法、凯氏定氮仪法、索氏抽提法、气相色谱法、氨基酸分析仪法等。利用LSD多重比较法检验不同生育期数据间的差异显著性,并通过主成分分析法对不同生育期核桃品质进行综合评价。【结果】随果实的生长发育,外观品质中,青果三径均值、坚果三径均值、青果鲜重、坚果鲜重、坚果干重、核仁鲜重、核仁干重和径仁率均呈先升后趋于相对平稳的变化趋势。花后112 d外观品质各项指标均达到相对较高水平,果实大小和质量基本稳定;感官品质中,取仁难易程度、种皮颜色和种皮剥离难易程度的评价得分均逐渐下降,核仁饱满度得分逐渐上升,核仁香气和风味得分先升后降。感官品质综合得分(2.8–4.5分)表现为先升后降,花后112 d得分最高为4.5分,感官品质最佳;营养品质中,出仁率、脂肪、蛋白质、硬脂酸和油酸等含量总体呈上升趋势,而含水率、棕榈酸、亚油酸和亚麻酸等含量整体呈下降趋势,可溶性糖、果糖、氨基酸总量、必需氨基酸总量、(鲜味、甜味、苦味和芳香族类)4类呈味氨基酸、P、Zn和Ca元素等含量先减后增,单宁含量呈增–减–增、Mg和Fe元素含量呈减–增–减的变化趋势。花后112 d时,部分营养物质如蛋白质、可溶性糖、果糖、亚油酸、P、Mg和Zn元素等含量迅速积累,达到较高水平。鲜核桃不同生育期综合品质的主成分分析结果表明:花后112 d时得分为0.53,与133 d时的最高分0.57较为接近,表明综合品质已达到较高。【结论】花后112 d为‘礼品2号’鲜食核桃的适宜采收期,直观指标为核壳内褶皱和隔膜颜色由白色发育为黄褐色,可为果农采收鲜食核桃提供参考依据。

关键词:鲜食核桃;品质;主成分分析;综合评价;采收期

中图分类号:S664.1 文献标志码:A

文章编号:1000-2286(2024)05-1172-14

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on harvest period of fresh walnut ‘Lipin No.2’

WEI Qin¹,CHANG Yuemei²,GAO Junxian²,LI Yongchen²,HAO Yanyan^{1*}

(1. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030801, China; 2. Shanxi Academy of Forestry and Grassland Science, Taiyuan 030012, China)

收稿日期:2024-02-29 修回日期:2024-06-11

基金项目:中央引导地方科技发展资金成果转化类项目(YDZJSX2022C032)和山西省林业重点研发计划专项(LYZDYF2021-7)

Project supported by the Central Government Guides Local Science and Technology Development Fund Achievement Transfer and Transformation Projects(YDZJSX2022C032)and Shanxi Province Forestry Key Research and Development Plan Special Project(LYZDYF2021-7)

作者简介:魏琴,硕士生,orcid.org/0009-0003-9600-120X,weiqin23622021@163.com;*通信作者:郝燕燕,教授,博士,主要从事果树生理与栽培研究,orcid.org/0009-0009-6897-4569,yanyanhao123@163.com.

©《江西农业大学学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND协议

Abstract: [Objective] In order to solve the problem of resource waste caused by the low quality of early harvest of fresh walnuts, this study explores the dynamic changes of various quality indexes of fresh walnut fruit at different growth stages. The analysis and evaluation of the comprehensive quality can clarify its growth and development law and propose a suitable fresh harvest period, which provides a reference for the timely harvest and resource utilization of fresh walnuts. [Method] In this experiment, the fresh walnut variety ‘Lipin No.2’ from Yicheng County, Shanxi Province was used as the test material. Samples were taken at 82 d, 92 d, 102 d, 112 d, 123 d and 133 d after flowering, for a total of 6 times. The contents of postharvest fruit quality indexes were determined by spectrophotometer, Kjeldahl nitrogen analyzer, soxhlet extraction, gas chromatography, amino acid analyzer. The LSD multiple comparison method was used to test the significance of the difference between the data at different growth stages, and the quality of walnuts at different growth stages was comprehensively evaluated by principal component analysis. [Result] With the growth of the fruit, the appearance indexes include three diameter mean of green fruit, three diameter mean of nuts, fresh weight of green fruit, fresh nut weight, the dry weight of the nut, the fresh weight of the walnut kernel, the dry weight of the walnut kernel and the ratio of the diameter of the kernel all increased first and then tended to be relatively stable. The appearance quality indexes reached a relatively high level at 112 days after flowering, the fruit size and quality were basically stable. In terms of sensory quality, the evaluation scores of taking kernel difficulty, seed coat color and seed coat peeling difficulty gradually decreased, the kernel plumpness score gradually increased, the kernel aroma and flavor scores first increased and then decreased. The comprehensive score of sensory quality (2.8~4.5 points) increased first and then decreased, the highest score was 4.5 points at 112 days after flowering, and the sensory quality was the best. In terms of nutritional quality, the contents of kernel rate, fat, protein, stearic acid and oleic acid showed an overall upward trend, while the contents of water content, palmitic acid, linoleic acid and linolenic acid showed an overall downward trend. The contents of soluble sugar, fructose, total amino acids, total essential amino acids, four kinds of flavor amino acids (umami, sweet, bitter and aromatic), P, Zn and Ca elements decreased first and then increased. The content of tannin showed a trend of increase-decrease-increase, and the content of Mg and Fe elements showed a trend of decrease-increase-decrease. At 112 days after flowering, the contents of some nutrients such as protein, soluble sugar, fructose, linoleic acid, P, Mg and Zn accumulated rapidly and reached a high level. The results of principal component analysis of the comprehensive quality of fresh walnut at different growth stages showed that the score was 0.53 at 112 days after flowering, which was close to the highest score of 0.57 at 133 days after flowering, and the comprehensive quality had reached a higher level. [Conclusion] 112 days after flowering is the suitable harvest time for fresh walnut of ‘Lipin No.2’. The visual index is that the color of inner fold wall and septum of core shell develops from white to yellowish brown, which can provide reference for fruit farmers to harvest fresh walnut.

Keywords: fresh walnut; quality; principal component analysis; comprehensive evaluation; harvest time

【研究意义】核桃(*Juglans regia* L.)别名胡桃,集营养功能、保健功能和医药功能于一体,深受人们喜爱。核桃作为一种优质坚果,大多以干制核桃或核桃仁供食用和销售。但近年来,人们对高脂肪核桃干果的消费需求有所下降^[1],转而对口感清爽甜香、低脂肪高蛋白等更具营养优势的鲜食核桃更为青睐^[2-4]。在鲜食核桃生产过程中,采收期是影响果实品质的重要原因。若采收过早,会导致核仁发育不全,出仁率低,有涩味^[5],口感不佳且营养品质不高,若采收过晚也会出现核仁老化,含水量低,脂肪含量高,口感硬而油腻,不利于出售等问题。因此,确定鲜食核桃适宜采收期对提高核桃品质、满足消费者需求及促进果农增收等有重要意义。【前人研究进展】核桃适宜的采收期因品种、地区和气候的不同而异^[6],如弓弼等^[7]研究认为陕西地区“西扶2号”核桃适宜鲜贮的采收期在9月4日左右。赵喆等^[8]研究表明,扬州宝应地区的5个薄壳山核桃品种在9月底至10月初时外观形态达到最大值,此时生长势好,为其干制核桃最

佳采收期。Wei 等^[9]研究认为成熟阶段对鲜食核桃气味、口感和营养成分等影响较大,选择适宜的成熟期以满足核桃不同品质要求有重要意义。目前国内外研究大多集中于干制核桃的采收期,对鲜食核桃何时采收最适宜等问题目前所知较少,该方面的研究也有所欠缺。

【本研究切入点】‘礼品 2 号’作为山西省引进的鲜食核桃品种,其成熟期早、果大、壳薄、核仁肥厚饱满,口感香甜脆嫩,深受人们喜爱。但在生产中,果农为了抢占市场和抬高价格,存在严重的早采现象,导致早期收获的果实核仁发育不全,品质差^[10],使得消费者可能会采购到果实品质较差的青核桃,严重影响其经济与食用价值。【拟解决的关键问题】针对山西省核桃产地从 6 月底便开始采收青核桃,缺乏统一的采收标准的问题,研究于 6 月 25 日(花后 82 d)至 8 月 15 日(花后 133 d)期间,研究‘礼品 2 号’鲜食核桃不同生育期各项品质指标的动态变化,运用单因素试验统计分析(LSD 法)和主成分分析法进行综合分析,以明确其生长发育规律并提出适宜的鲜食采收期,为鲜食核桃的采收提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为山西省翼城县樊店村的 13 年生‘礼品 2 号’鲜食核桃品种,南北向种植,常规管理。分别于 2022 年 6 月 25 日、7 月 5 日、7 月 15 日、7 月 25 日、8 月 5 日、8 月 15 日(即花后 82, 92, 102, 112, 123, 133 d)时进行采样,共计 6 次。采后青皮果进行横纵侧径及重量测定后手工脱青皮,用于后期坚果和核仁品质指标测定。

1.2 测定方法

果实三径(横径、纵径、侧径)用游标卡尺测定,果实重量用电子天平称量。脂肪含量参照《GB 5009.6—2016 食品中脂肪的测定》^[11]测定。蛋白质含量参照《GB 5009.5—2016 食品中蛋白质的测定》^[12]测定。单宁含量参照罗玉洁^[13]测定。可溶性糖和还原糖含量参照高俊凤^[14]测定。果糖含量测定参照卢珍华等^[15]的方法。脂肪酸含量参照《GB 5009.168—2016 食品中脂肪酸的测定》^[16]测定。氨基酸含量参照《GB 5009.124—2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[17]采用外标法测定。P 含量参照《NY/T 2017—2011 植物中氮、磷、钾的测定》^[18]测定。Ca、Mg、Fe 和 Zn 等元素含量参照《GB/T 13885—2017 饲料中钙、铜、铁、镁、锰、钾、钠和锌含量的测定 原子吸收光谱法》^[19]测定。

感官品质评价参照前人研究者^[20-22]的评价方法,结合该研究材料略做修改。在不同生育期时分别采摘 30 个大小均匀的健康果实,随即带回实验室后由核桃研究人员 10 人进行评价赋分,评价指标及赋分标准如表 1。综合得分计算公式为:综合得分=取仁难易×0.15+种皮颜色×0.1+种皮剥离难易×0.15+核仁饱满度×0.1+香气×0.2+风味×0.3,公式中的各项权重是根据对核桃消费群体的调查而定。

表 1 感官品质指标评分标准
Tab.1 Sensory quality index scoring criteria

赋分标准 Grading standard	感官指标 Sensory index					
	取仁难度 Taking kernel difficulty	种皮颜色 Seed coat color	种皮剥离难度 Difficulty of seed coat peeling	核仁饱满度 Kernel fullness	香气 Aroma	风味 Flavor
5 分	易	黄白色	易	饱满	清香	脆而味较浓
4 分	较易	浅亮黄色	较易	较饱满	淡清香	脆而味淡
3 分	较难	黄色	较难	干瘪	浓香	硬脆味浓
2 分	难	暗黄色	难		微弱清香	较脆而味淡
1 分					无香气	软嫩无味

1.3 数据处理

运用 Excel 2016 进行试验数据整理;DPS 数据处理系统进行单因素试验统计分析(LSD 法),结果用平均值±标准差表示;SPSS 25.0 统计软件进行主成分分析;Origin 2021 软件作图;Photoshop 2010 进行图版制作。

2 结果与分析

2.1 不同生育期鲜核桃果实外观品质和内部结构变化

2.1.1 果实外观品质变化

由表 2 可知,随果实的生长发育,8 项外观性状指标整体均呈增长趋势。其中青果三径均值、坚果三径均值、坚果鲜重和坚果干重均在花后 82d 时为最小值,花后 112 d 时均达到较大值,分别为 50.63 mm、39.02 mm、30.20 g 和 11.79 g,此后虽仍有小幅度增加,但与 112 d 时差异不显著;青果鲜重在花后 92 d、核仁鲜重和径仁率均在花后 102 d 时达到较大值,分别为 71.67 g、10.65 g 和 28.97 %,之后仍有小幅度增加,但与该时期差异不显著;核仁干重则随果实的生长发育逐渐增加,不同生育期差异显著($P<0.05$)。可见,不同生育期对果实外观品质影响较大。整体来看,花后 112 d 时外观品质各项指标均达到较优水平。

表 2 不同生育期果实外观品质变化

Tab.2 Changes of fruit appearance quality at different growth stages

花后天数 Days after flowering	青果三径 均值/mm Three diameter mean of green fruit	坚果三径 均值/mm The average three diameter of nuts	青果鲜重/g Fresh weight of green fruit	坚果鲜重/g Fresh nut weight	坚果干重/g Nut dry weight	核仁鲜重/g Fresh weight of walnut kernel	核仁干重/g Dry weight of walnut kernel	径仁率/% Diameter kernel rate
82 d	38.18±1.27 ^c	38.22±0.65 ^c	68.87±5.05 ^b	23.52±3.30 ^c	8.90±0.10 ^e	6.64±0.38 ^c	1.45±0.01 ^f	16.95±1.05 ^c
92 d	49.71±1.60 ^b	38.68±1.01 ^{bc}	71.67±9.67 ^{ab}	25.29±2.91 ^c	9.00±0.75 ^c	9.84±1.54 ^b	3.19±0.41 ^c	25.12±3.34 ^b
102 d	51.51±2.00 ^b	38.76±0.97 ^{bc}	73.56±7.84 ^{ab}	27.41±3.11 ^b	10.70±0.94 ^b	10.65±1.16 ^{ab}	4.55±0.50 ^d	28.97±3.18 ^a
112 d	50.63±2.33 ^{ab}	39.02±1.12 ^{ab}	74.41±2.56 ^a	30.20±2.03 ^a	11.79±1.27 ^a	10.97±1.71 ^a	6.16±0.80 ^c	29.02±2.96 ^a
123 d	51.02±1.55 ^{ab}	39.11±0.95 ^{ab}	74.55±2.42 ^a	30.56±3.84 ^a	12.19±1.46 ^a	10.66±1.26 ^{ab}	7.08±0.86 ^b	28.68±2.13 ^a
133 d	51.58±2.01 ^a	39.59±0.88 ^a	75.08±9.52 ^a	31.02±0.61 ^a	12.68±1.62 ^a	12.16±0.93 ^a	8.76±0.88 ^a	29.57±1.83 ^a

表中同列小写字母为 0.05 水平上的显著性差异。
The lowercase letters in the same column in the table are significant differences at the 0.05 level.

2.1.2 果实内部结构变化

如图 1 所示,‘礼品 2 号’鲜核桃果实核壳内褶壁和隔膜颜色在花后 82 d 为白色,92 d 时为黄白色,102 d 为黄色,随果实的生长发育,在花后 112 d 时初步发育为黄褐色,至花后 123 d 时已完全成为褐色,花后 133 d 则变成了黑褐色。

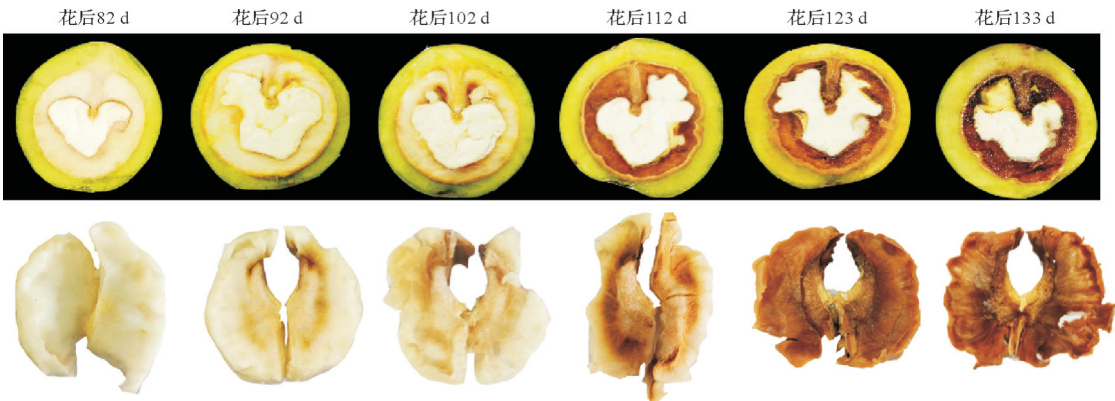


图 1 不同生育期鲜核桃果实纵切面和隔膜颜色变化

Fig.1 Color changes of longitudinal section and septum of fresh walnut fruit at different growth stages

2.2 不同生育期鲜核桃果实感官品质变化

如表 3 所示,随果实的生长发育,‘礼品 2 号’在花后 82 d 时取仁和种皮剥离的难易程度均表现为容易,得分最高为 5 分,102 d 和 112 d 时由易变为较易,至 133 d 时不易取整仁且不易完整剥取内种皮,得分最低仅有 2 分;种皮颜色也在 82 d 时得分最高,表现为黄白色,至 133 d 时种皮暗黄,得分仅为 2 分;而核仁饱满度则仅在 82 d 时较饱满,得分相对低一些,之后均趋于饱满,得分均为 5 分;核仁香气和风味得分则先升后降,82 d 时软嫩无香味,得分最低仅为 1 分,随着不断成熟,在 112 d 时均得到了最高分 5 分,表

现为清爽香脆,但之后时期核仁口感表现为硬而油腻且有浓香,得分又有所降低。综合得分结果表明,花后82 d和133 d时得分较低,分别为2.9和2.8分,花后112 d时得分最高为4.5分。

表3 不同生育期果实感官品质变化

Tab.3 Changes of sensory quality of fruit in different growth stages

花后天数 Days after flowering	取仁难度 Taking kernel difficulty	种皮颜色 Seed coat color	种皮剥离难度 Difficulty of seed coat peeling	核仁饱满度 Kernel fullness	香气 Aroma	风味 Flavor	综合得分 Synthesis score
82 d	5	5	5	4	1	1	2.9
92 d	5	5	5	5	2	2	3.5
102 d	4	4	4	5	4	4	4.1
112 d	4	3	4	5	5	5	4.5
123 d	3	3	3	5	3	5	3.8
133 d	2	2	2	5	3	3	2.8

2.3 不同生育期鲜核桃仁营养品质变化

2.3.1 核仁部分营养指标变化

从图2A可知,随果实的生长发育,出仁率和脂肪含量均呈上升趋势,花后82 d时含量最低,分别为21.58%和12.40%,至123 d时分别升至最大值44.44%、36.18%,含水率则呈下降趋势,花后82 d达到69.52%,之后逐渐下降,至123 d降至最低值45.76%,之后3项指标变化均趋于相对平稳。综合来看,花后123 d后果实发育趋于稳定,但112 d时的果实较123 d含水率高、脂肪含量低。核桃蛋白比其他谷物蛋白营养和功能更好^[23]。图2B表明,蛋白质含量随果实的生长发育整体呈增长趋势,发育初期含量较低,在花后112 d时迅速积累至较高值10.35%,仅次于133 d时的最高值11.81%。图2C表明,核仁单宁含量呈增-减-增的变化趋势,在花后112 d时含量显著低于其他生育期,口感涩味较轻,风味较好。果实中糖的积累对品质形成至关重要^[24],由图2D、2E、2F可知,可溶性糖和果糖含量先减后增,花后82 d时含量分别为0.75%和0.23%,后分别在102d和92d时下降至最低值0.51%和0.10%,112 d时二者均迅速积累至较高水平,仅次于最高值,且该时期还原糖含量也相对较高。由此可见,花后112 d时,核仁品质更符合高含水量、低脂高蛋白等鲜食特性,且部分营养物质(蛋白质、可溶性糖和果糖)迅速积累,达到较高水平。

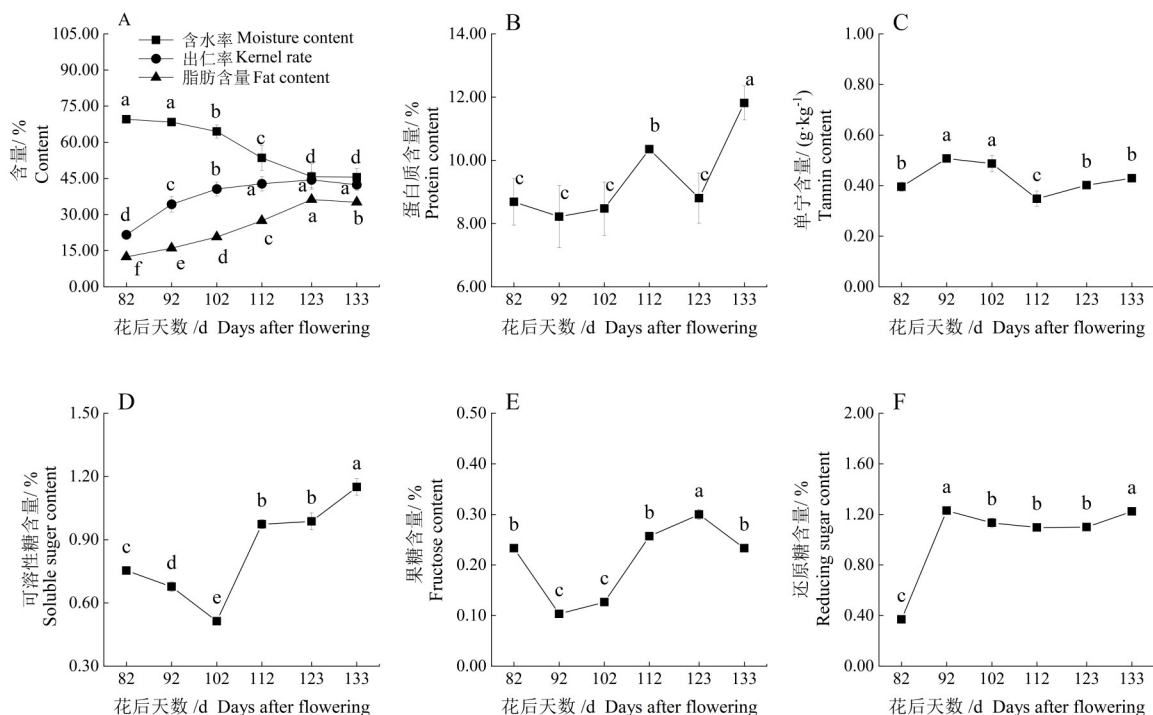


图2 不同生育期核仁部分营养指标变化

Fig.2 Changes of some nutritional indexes of walnut kernel at different growth stages

2.3.2 核仁脂肪酸含量变化

脂肪酸分为饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)和不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸和亚麻酸),其中亚油酸相对含量占比最高^[25],硬脂酸最低。由图 3A、3D 和 3E 可知,随果实的生长发育,棕榈酸、亚油酸和亚麻酸相对含量整体呈下降趋势,三者在花后 82 d 时含量均最高,分别为 9.27%、68.58% 和 9.39%,之后逐渐下降,棕榈酸和亚油酸在 123 d 时降至最低,分别为 7.21% 和 50.37%,但二者在 112 d 和 133 d 时有所升高,高于前一个时期,亚麻酸则在 112 d 时降至最低值 6.03%,123 d 时又显著增加。图 3B、3C 表明,硬脂酸和油酸相对含量整体呈上升趋势,花后 82 d 时含量均最低,分别为 1.26% 和 11.24%,之后逐渐增加,硬脂酸在 112 d 时达到了最大值 3.23%,之后差异不显著,油酸在 123 d 时达到了最大值 30.58%。综上,不同生育期对 5 种脂肪酸相对含量影响较大,花后 112 d 时各脂肪酸含量达到相对较好水平。

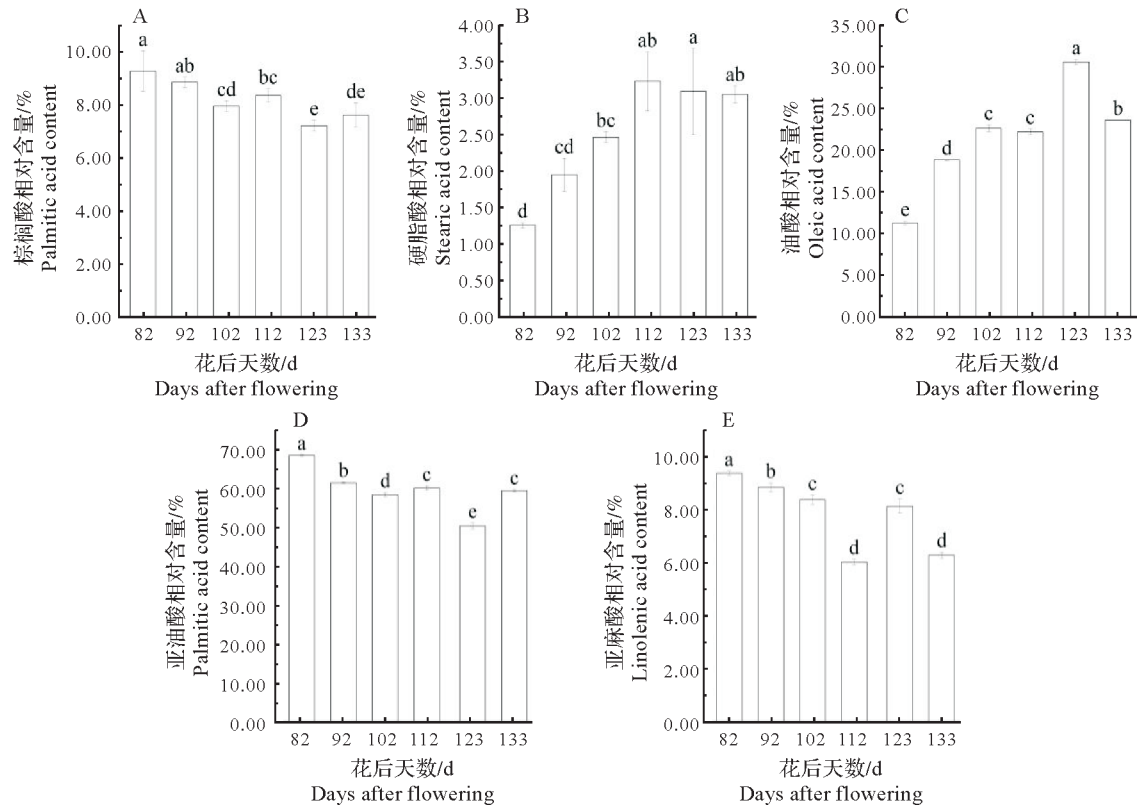


图 3 不同生育期核仁脂肪酸含量变化

Fig.3 Changes of fatty acid content in walnut kernel at different growth stages

2.3.3 核仁氨基酸含量变化

核桃仁是人体补充必需氨基酸的重要食物来源。由表 4 可知,‘礼品 2 号’核仁中共含有 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸。依据呈味特征,又可将其分为鲜味(天冬氨酸和谷氨酸)、甜味(苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸)、苦味(异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯基丙氨酸、缬氨酸、组氨酸和精氨酸)和芳香族类(酪氨酸和苯丙氨酸)共 4 类呈味氨基酸^[26],呈味氨基酸含量对核仁风味构成也有重要影响,排序依次为苦味氨基酸>鲜味氨基酸>甜味氨基酸>芳香族类氨基酸。其中氨基酸总量介于 8.46~13.33 g/100g,必需氨基酸总量介于 2.77~4.14 g/100g,鲜、甜、苦和芳香族类 4 类呈味氨基酸含量分别介于 2.64~4.28 g/100g、1.79~2.69 g/100g、3.70~5.90 g/100g 和 0.56~0.89 g/100g。各类氨基酸指标含量整体均呈先减后增的趋势,在花后 82 d 时含量分别为 9.71 g/100g、3.35 g/100g、2.77 g/100g、2.12 g/100g、4.25 g/100g 和 0.67 g/100g,92 d 时含量均降到最低,分别为 8.46 g/100g、2.77 g/100g、2.64 g/100g、1.79 g/100g、3.70 g/100g 和 0.56 g/100g,之后逐渐增加,至 133 d 时含量均达到最高,分别为 13.33 g/100g、4.14 g/100g、4.28 g/100g、2.69 g/100g、5.90 g/100g 和 0.89 g/100g。花后 112 d 时,各氨基酸含量仅次于 133 d,达到了一个相对较高的水平。

表4 不同生育期核桃仁氨基酸含量变化

Tab.4 Changes of walnut kernel amino acid content in different growth stages

g/100g

氨基酸种类 Types of amino acids	花后天数 Days after flowering					
	82 d	92 d	102 d	112 d	123 d	133 d
天冬氨酸 Asp	0.93	0.87	0.90	1.28	0.97	1.33
*苏氨酸 Thr	0.35	0.30	0.30	0.42	0.32	0.43
丝氨酸 Ser	0.45	0.39	0.40	0.59	0.45	0.64
谷氨酸 Glu	1.84	1.77	1.85	2.84	2.16	2.95
甘氨酸 Gly	0.47	0.41	0.43	0.65	0.50	0.69
丙氨酸 Ala	0.56	0.44	0.42	0.57	0.43	0.57
胱氨酸 Cys	0.035	0.018	0.014	0.012	0.000	0.049
*缬氨酸 Val	0.66	0.58	0.61	0.86	0.65	0.83
*蛋氨酸 Met	0.142	0.006	0.000	0.000	0.006	0.046
*异亮氨酸 Ile	0.43	0.37	0.38	0.54	0.41	0.56
*亮氨酸 Leu	0.95	0.84	0.86	1.25	0.95	1.30
酪氨酸 Tyr	0.25	0.18	0.17	0.22	0.17	0.29
*苯丙氨酸 Phe	0.42	0.38	0.39	0.57	0.43	0.60
*赖氨酸 Lys	0.39	0.30	0.29	0.36	0.28	0.37
组氨酸 His	0.24	0.20	0.21	0.30	0.23	0.32
精氨酸 Arg	1.30	1.16	1.23	1.85	1.37	2.00
脯氨酸 Pro	0.28	0.25	0.25	0.34	0.27	0.35
鲜味氨基酸 Umami amino acid	2.77	2.64	2.75	4.12	3.13	4.28
甜味氨基酸 Sweet amino acid	2.12	1.79	1.80	2.56	1.96	2.69
苦味氨基酸 Bitter amino acid	4.25	3.70	3.85	5.59	4.22	5.90
芳香族类氨基酸 Aromatic amino acid	0.67	0.56	0.57	0.79	0.60	0.89
必需氨基酸总量 Total content of essential amino acids	3.35	2.77	2.84	3.99	3.06	4.14
非必需氨基酸总量 Total content of non-essential amino acids	6.36	5.69	5.87	8.65	6.53	9.19
氨基酸总量 Total content of amino acids	9.71	8.46	8.70	12.64	9.59	13.33

*表示必需氨基酸。

* Indicates essential amino acids.

2.3.4 核桃仁矿质元素含量变化

果实的生长发育离不开矿质元素的积累与转运,其含量的高低更关系到果实最终品质的优劣。从表5可知,随果实的生长发育,P和Zn元素含量整体呈先减后增趋势,花后82 d时含量均较高,分别为34.43 mg/100g和14.07 mg/kg,之后P元素含量在102 d时降到最低值28.30 mg/100g,112 d时迅速积累至33.80 mg/100g,之后又缓慢升高。而Zn元素含量在92 d时含量下降至最低值10.79 mg/kg,之后逐渐增加,至花后112 d时迅速累积至13.47 mg/kg,达到了相对较高水平,133d时含量最高为14.74 mg/kg。Ca元素含量先减后增,在花后82 d时含量最高为556.36 mg/100g,之后逐渐下降,至123 d时下降至最低值257.96 mg/100g,后又在133 d升至411.75 mg/100g。Mg和Fe元素含量整体呈减-增-减的变化趋势,在花后82 d时含量分别为106.25 mg/100g和6.82 mg/kg,之后Mg元素在102 d下降至最低值76.61 mg/100g,Fe元素在92 d下降至5.71 mg/kg,随后二者均在花后112 d时迅速增长至最高值107.86 mg/100g和9.10 mg/kg。

整体来看,‘礼品 2 号’核仁矿质元素在发育后期含量相对较高,P、Mg 和 Zn 元素含量均在花后 112 d 时迅速积累至较高水平,且此时 Mg 和 Fe 元素含量达到最高值,Ca 元素含量也相对较高。可见,过早采收不利于矿质营养成分的积累,花后 112 d 是果实矿质营养积累的关键期。

表 5 不同生育期核仁矿质元素含量变化

Tab.5 Changes of mineral element content in walnut kernel at different growth stages

花后天数 Days after flowering	P/(mg·100g ⁻¹)	Ca/(mg·100g ⁻¹)	Mg/(mg·100g ⁻¹)	Fe/(mg·kg ⁻¹)	Zn/(mg·kg ⁻¹)
82 d	34.43±0.97 ^{ab}	556.36±11.89 ^a	106.25±1.88 ^a	6.82±0.92 ^b	14.07±0.23 ^{ab}
92 d	29.49±2.12 ^c	409.79±8.34 ^b	84.12±2.93 ^c	5.71±0.91 ^{bc}	10.79±0.23 ^d
102 d	28.30±1.03 ^c	375.44±14.98 ^c	76.61±0.24 ^d	6.30±0.47 ^{bc}	11.22±0.21 ^d
112 d	33.80±1.07 ^b	378.63±12.20 ^c	107.86±1.00 ^b	9.10±0.18 ^a	13.47±0.25 ^{bc}
123 d	34.98±0.94 ^{ab}	257.96±2.00 ^d	98.69±1.12 ^b	5.37±0.85 ^c	13.12±0.79 ^c
133 d	36.59±1.91 ^a	411.75±12.18 ^b	100.55±1.59 ^b	6.48±0.62 ^{bc}	14.74±0.65 ^a

*表示必需氨基酸。

* Indicates essential amino acids.

2.4 不同生育期鲜核桃果实综合品质主成分分析

主成分分析方法是指利用降维思想,将原来多个指标通过线性关系组合转化为几个相对独立的综合指标,通过线性关系得出的几个主成分值可代表原来多个散乱指标的主要信息,再以方差贡献率为权重,可构建出综合评价模型并计算综合得分,该方法已被众多研究者应用于核桃品质的整体分析^[27-28]。如表 6 和表 7 所示,对核桃果实 33 项品质指标进行主成分分析,共提取了 4 个主成分,方差累积贡献率达到 98.437%(>85%),各主成分特征值均>1,表明这 4 个主成分综合了 33 项指标的主要信息,可以作为评价果实不同生育期综合品质的重要成分。其中第 1 主成分方差贡献率为 44.281%,主要综合了果实外观性状、出仁率、脂肪和油酸等指标,是影响核桃采收期的主要因素;第 2 主成分方差贡献率为 30.762%,包括蛋白质和各类氨基酸等指标;第 3 主成分方差贡献率为 16.977%,载荷值较大的指标主要是果糖、可溶性糖和矿质元素 Mg、P、Zn 等;第 4 主成分方差贡献率为 6.416%,主要反应感官品质对核桃综合品质的影响。载荷值正值越大说明该指标对该主成分的正向影响越大,反之,载荷值负值越大说明负向影响越大。

表 6 主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率

Tab.6 Eigen value, contribution rate and cumulative contribution rate of principal component

主成分 Principal component	特征值 Eigen value	方差贡献率/% Contribution rate	累积方差贡献率/% Cumulative contribution rate
PC ₁	14.613	44.281	44.281
PC ₂	10.152	30.762	75.043
PC ₃	5.602	16.977	92.021
PC ₄	2.117	6.416	98.437

用 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 分别代表这 4 个主成分, X_1 、 X_2 、 $\cdots$ 、 X_{32} 、 X_{33} 分别代表 33 项品质指标,由表 7 中各指标得分系数分别求出 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 ,线性方程表达式^[29]为: $Y_1=0.022X_1+0.06X_2+0.046X_3+0.058X_4+0.054X_5+0.051X_6+0.049X_7+0.053X_8-0.057X_9+0.065X_{10}+0.057X_{11}+0.066X_{12}-0.013X_{13}+0.02X_{14}+0.052X_{15}+0.012X_{16}+0.025X_{17}-0.082X_{18}+0.069X_{19}+0.087X_{20}-0.093X_{21}-0.002X_{22}-0.032X_{23}-0.021X_{24}-0.006X_{25}-0.03X_{26}-0.02X_{27}-0.031X_{28}+0.004X_{29}-0.088X_{30}-0.027X_{31}-0.059X_{32}-0.019X_{33}$,同理,分别计算出 Y_2 、 Y_3 和 Y_4 。再分别以 4 个主成分对应的方差贡献率(表 6)为权重,构建不同生育期核桃果实品质综合(综合得分值)评价模型^[30]: $Y=44.281\%Y_1+30.762\%Y_2+16.977\%Y_3+6.416\%Y_4$,结果见表 8。当 Y 值为负时表明综合品质低于平均水平,反之为正时则高于平均水平,且正值越大,综合品质越高。结果表明,在花后 82~102 d 期间得分均为负,品质较低,花后 112 d 时得分转为正,且达到 0.53 分,品质较高,133 d 时达到最高分 0.57。

表7 主成分得分系数矩阵与载荷矩阵

Tab.7 Principal component score coefficient matrix and load matrix

指标 Indicators	PC ₁		PC ₂		PC ₃		PC ₄	
	系数	载荷	系数	载荷	系数	载荷	系数	载荷
	Coefficient	Load	Coefficient	Load	Coefficient	Load	Coefficient	Load
感官品质 Sensory quality (X_1)	0.022	0.391	-0.043	-0.149	0.049	-0.101	0.432	0.903
青果三径均值 Three diameter mean of green fruit (X_2)	0.060	0.900	0.028	0.177	-0.095	-0.347	0.020	0.121
坚果三径均值 The average three diameter of nuts (X_3)	0.046	0.803	0.056	0.544	-0.061	0.025	-0.136	-0.236
青果鲜重 Fresh weight of green fruit (X_4)	0.058	0.925	0.022	0.36	-0.034	-0.037	0.028	0.105
坚果鲜重 Fresh nut weight (X_5)	0.054	0.867	0.006	0.436	0.027	0.233	0.023	0.062
坚果干重 Nut dry weight (X_6)	0.051	0.815	0.007	0.465	0.035	0.295	-0.011	-0.016
核仁鲜重 Fresh weight of walnut kernel (X_7)	0.049	0.866	0.063	0.422	-0.109	-0.265	-0.031	0.012
核仁干重 Dry weight of walnut kernel (X_8)	0.053	0.844	0.027	0.486	-0.013	0.157	-0.090	-0.158
含水率 Moisture content (X_9)	-0.057	-0.791	0.021	-0.386	-0.076	-0.446	0.071	0.160
出仁率 Kernel rate (X_{10})	0.065	0.955	-0.002	0.209	-0.022	-0.080	0.072	0.196
径仁率 Diameter kernel rate (X_{11})	0.057	0.913	0.030	0.266	-0.075	-0.249	0.055	0.182
脂肪 Fat (X_{12})	0.066	0.867	-0.028	0.309	0.063	0.358	-0.074	-0.154
蛋白质 Protein (X_{13})	-0.013	0.350	0.139	0.839	-0.120	-0.116	0.024	0.098
可溶性糖 Soluble sugar (X_{14})	0.020	0.408	0.016	0.588	0.077	0.584	-0.115	-0.274
还原糖 Reducing sugar (X_{15})	0.052	0.806	0.048	0.157	-0.139	-0.499	-0.023	0.047
单宁 Tannin (X_{16})	0.012	-0.006	0.039	-0.390	-0.204	-0.852	-0.216	-0.349
果糖 Fructose (X_{17})	0.025	0.268	-0.088	0.209	0.234	0.937	0.067	0.040
棕榈酸 Palmitic acid (X_{18})	-0.082	-0.942	0.053	-0.038	-0.040	-0.152	0.087	0.160
硬脂酸 Stearic acid (X_{19})	0.069	0.924	-0.046	0.189	0.077	0.288	0.078	0.164
油酸 Oleic acid (X_{20})	0.087	0.988	-0.075	-0.087	0.058	0.123	0.005	0.030
亚油酸 Linoleic acid (X_{21})	-0.093	-0.954	-0.100	0.266	0.049	-0.137	-0.096	-0.025
亚麻酸 Linolenic acid (X_{22})	-0.002	-0.512	-0.100	-0.819	0.049	-0.103	-0.096	-0.224
必需氨基酸总量 Total content of essential amino acids (X_{23})	-0.032	0.060	0.110	0.926	-0.008	0.373	0.005	-0.007
氨基酸总量 Total content of amino acids (X_{24})	-0.021	0.208	0.110	0.925	-0.022	0.316	-0.001	-0.008
鲜味氨基酸 Umami amino acid (X_{25})	-0.006	0.378	0.100	0.882	-0.024	0.268	0.022	0.049
甜味氨基酸 Sweet amino acid (X_{26})	-0.030	0.087	0.113	0.931	-0.016	0.351	-0.009	-0.032
苦味氨基酸 Bitter amino acid (X_{27})	-0.020	0.220	0.111	0.926	-0.024	0.307	0.001	-0.003
芳香族氨基酸 Aromatic amino acid (X_{28})	-0.031	0.075	0.127	0.947	-0.045	0.275	-0.069	-0.146
P (X_{29})	0.004	0.106	-0.012	0.482	0.137	0.790	-0.137	-0.357
Ca (X_{30})	-0.088	-0.945	0.096	0.253	-0.07	-0.062	-0.077	-0.178
Mg (X_{31})	-0.027	-0.196	-0.010	0.472	0.170	0.838	0.069	0.045
Fe (X_{32})	-0.059	-0.225	0.091	0.655	0.009	0.179	0.349	0.699
Zn (X_{33})	-0.019	-0.069	0.026	0.613	0.103	0.717	-0.105	-0.287

表8 ‘礼品2号’不同生育期果实品质综合得分与排序
Tab.8 Comprehensive score and ranking of fruit quality in different growth stages of ‘Lipin No.2’

花后天数/d Days after flowering	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y	排序 Sort
82	-1.761	-0.241	0.841	-0.345	-0.73	6
92	-0.312	-0.616	-1.149	-0.245	-0.54	5
102	0.246	-0.484	-1.173	0.494	-0.21	4
112	0.101	0.997	0.425	1.663	0.53	2
123	1.211	-1.108	1.184	-0.242	0.38	3
133	0.514	1.451	-0.127	-1.324	0.57	1

3 讨 论

3.1 鲜食核桃品质变化研究

研究不同生育期核桃品质指标的动态变化可明确其生长发育特性,进一步确定适宜采收期。研究表明,外观品质中,青果和坚果三径均值、青果和坚果鲜重、坚果和核仁干重及径仁率等随果实生长发育整体均呈先显著增加后趋于相对平稳的变化趋势,这与陈芮蝶^[31]测定的陕西杨凌地区9个核桃品种变化趋势及陈利英等^[32]研究的河北“绿玲”核桃外观品质变化趋势类似。感官品质中,果实发育初期核仁不饱满且内种皮较厚,使得很容易取整仁并能轻易剥离内种皮,种皮颜色也表现为黄白或浅亮黄色,这三项指标获得了较高评分,这与巩芳娥等^[21]在研究不同解冻复鲜方式下对鲜食核桃感官品质影响时,对种皮颜色为浅亮黄色和种皮可轻易大片剥取赋予最高等级的评价一致。但初期时寡淡无味,口感评分较低,随果实生长发育,到中期时清香由无到有,口感爽脆嫩甜,一致获得最高评分^[20],末期时由于水分减少和油脂积累等,导致核仁硬化且油腻,香味过浓,失了鲜核桃的清爽口感,评分又有所降低。另外,有研究^[33-34]表明,鲜食核桃在冷藏或冻藏时的不同温度和保鲜方式会对其感官品质有所影响,为保证采收时期品质评价的准确性,本试验采用了在不同生育期采样完成后即进行感官品质评价的方式,并坚持每次采样均匀性和评价主体一致性原则,确保了评价结果科学合理。

营养品质中,脂肪含量先增加后趋于稳定,蛋白质含量逐渐增长,这与高文兰等^[35]的研究结果一致。可溶性糖和果糖含量在发育初期含量较高,可为种仁幼胚发育提供充足的活力^[36],之后逐渐转化为脂肪而下降,这与陈玲^[37]研究中,核桃种仁在充实期内可溶性糖含量呈先升后降的变化趋势类似,随着果实成熟,可能通过一定的光合作用补充了对糖类的需求,致使糖类物质又缓慢增加^[38],表明若在一定范围内提取采摘核桃,未转化为脂肪的糖类物质可为果实增加一定的甜度,爽脆清甜不会太过油腻^[32]。5种脂肪酸中,油酸和硬脂酸总体呈增长趋势,棕榈酸、亚油酸和亚麻酸整体呈下降趋势,这与周文君^[39]的研究结果类似,相对较早采收果实可保持更高含量的亚油酸和亚麻酸,来补充人体自身无法合成的营养成分^[40]。核仁中丰富的矿质元素也可为人体补充更多营养,对人体健康极为有益,其中P、Ca和Zn元素含量呈先减后增,Mg和Fe元素含量整体呈减-增-减的变化趋势,确定适宜的采收时间可有效提升果实矿质营养成分。

3.2 鲜食核桃采收期确定

采收是核桃生产中的重要环节,采收的早晚直接影响核桃品质的高低。生产中,大多依据青皮开裂度、青皮颜色与剥离程度以及核仁和核壳硬化程度等来判断果实成熟度^[41-42],进而确定核桃适宜采收期。但成熟后收获的果实往往被用于干制核桃或其他加工核桃来使用,目前干制核桃最适采收期大多依据营养成分达到峰值来确定,如郝金莲等^[5]认为“温185”和“新新2”核桃的脂肪、蛋白质和矿质营养等分别在8月31日至9月5日和9月30日至10月5日期间达到峰值或较高水平,此时为两种核桃的最适采收期。但鲜食核桃适宜采收期的确定与干制核桃有所不同,会比完熟期采收的干制核桃更早一些^[1],虽然蛋白质和脂肪等营养物质未必达到峰值,但消费者的接受程度较高^[43]。因此,鲜核桃采收期的确定需要

综合考虑营养品质、外观品质和感官品质等。

本研究中,‘礼品2号’鲜食核桃的出仁率、脂肪、果糖和油酸等含量均在花后123 d达到峰值,蛋白质、可溶性糖、各类氨基酸、P和Zn元素等含量均在花后133 d达到峰值,故花后123 d至133 d可作为干制核桃的最适采收期。但此时感官品质评价不高,发育至花后133 d时,核仁硬化、种皮不易剥离、核仁与核壳高度契合使得不易取整仁,在口感上,也因核仁硬化、脂肪积累和水分减少等因素,导致其口感爽脆度下降^[44],风味和香气过于浓郁油腻,不能满足消费者对鲜食核桃的品质需求。反而在发育中期(花后112 d)时取仁和种皮剥离程度都较易、核仁饱满、口感清香且脆而味较浓,综合得分最高,感官品质达到最佳水平;且在花后112 d时,青果和坚果三径均值、坚果鲜重和干重、核仁鲜重等均达到较大值,外观品质已达到较佳;部分营养物质如蛋白质、果糖、可溶性糖、棕榈酸、亚油酸、P、Mg和Zn元素等含量在花后112 d时均有明显增加,该阶段是营养物质快速积累时期,采收过早,会导致营养成分流失。对不同生育期核桃果实品质的主成分分析结果表明,虽在花后133 d即果实完熟期时得分最高,但112 d时得分也与最高分接近,综合品质已达到较高水平。综上,花后112 d为‘礼品2号’鲜食核桃最适采收期。

此外,本研究中开花时间为雌花盛期,是以全树50%的雌花柱头达到开裂为记录期。通过对翼城‘礼品2号’核桃雌花盛期进行连年观测发现,2020年为4月6日,2021和2022年为4月4日,2023年为4月2日。而在山西晋中榆次北田栽植的‘礼品2号’2020—2023年雌花盛期分别为4月18日、4月16日、4月17日和4月16日。故品种的雌花盛期发生时间在同一地区各年份相差不大,但不同气候栽培区有差异。因此,在不同栽培区时可依据花后天数来作为采收时间的判断较为科学。

4 结 论

花后112 d时,外观品质达到较佳值,果实大小和质量基本稳定;感官品质综合评价得分最高,口感清香、脆而味较浓;营养物质如蛋白质、可溶性糖、果糖、亚油酸、P、Mg和Zn元素等含量迅速积累,达到较高水平。且运用主成分分析法对不同生育期综合品质评价结果表明,花后112 d与133 d时的最高分接近,综合品质已达到较佳。综上,花后112 d是‘礼品2号’鲜食核桃的适宜采收期,在晋南地区为7月25日左右,直观特征为核壳内褶壁和隔膜颜色由白色发育为黄褐色,可为果农采收鲜食核桃提供直接、简便、可行的判断依据。

参考文献 References:

- [1] 鲁墨森,张倩,杨娟侠.鲜食核桃保鲜和周年供应技术研究[J].山东农业科学,2010(3):81-83.
LU M S,ZHANG Q,YANG J X.Research on preservation and year-round supply technique of fresh-eating walnut[J].Shandong agricultural sciences,2010,(3):81-83.
- [2] 景鑫鑫.温度和采收期对去青皮鲜核桃冻藏品质的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2019.
JING X X.Effects of temperature and harvesting period on the quality of fresh walnuts during frozen storage[D].Lanzhou: Gansu Agricultural University,2019.
- [3] 王园梦,白羽嘉,冯作山,等.含水量对新疆鲜食核桃贮藏期黄曲霉生长及黄曲霉毒素M₁积累的影响[J].食品与机械,2023,39(6):143-148.
WANG Y M,BAI Y J,FENG Z S,et al.Effect of water content on the growth of *A. flavus* and *A. flavus* M₁ accumulation during storage of fresh walnut in Xinjiang[J].Food & machinery,2023,39(6):143-148.
- [4] 唐燕,陈思佚,周自云,等.4个鲜食核桃品种耐贮藏性比较及核磁共振研究[J].果树学报,2021,38(11):1975-1983.
TANG Y,CHEN S Y,ZHOU Z Y,et al.Comparison of fresh storage endurance and nuclear magnetic resonance study in four walnut varieties[J].Journal of fruit science,2021,38(11):1975-1983.
- [5] 郝金莲,杨钰琪,王茹,等.不同采收期对温185和新新2核桃品质的影响[J].浙江农业学报,2022,34(10):2188-2198.
HAO J L,YANG Y Q,WANG R,et al.Effects of different harvest time on quality of walnut varieties Wen185 and Xinxin2 [J].Acta agriculturae Zhejiangensis,2022,34(10):2188-2198.

- [6] 鹿宏丽,艾力亚斯·艾合麦提,贡翔,等.“温185”核桃不同采收期果实品质变化动态研究[J].新疆农垦科技,2022,45(2):24-28.
- LU H L, AIHMAITI A, GONG X, et al. Study on the dynamic change of fruit quality of “Wen185” walnut at different harvesting periods[J]. Xinjiang farm research of science and technology, 2022, 45(2): 24-28.
- [7] 弓弼,蒋柳庆,马惠玲,等.采收期对青皮核桃果实冷藏与采后生理的影响[J].食品科学,2014,35(24):343-347.
- GONG B, JIANG L Q, MA H L, et al. Effect of harvesting date on cold storage and postharvest physiology of green walnut fruits[J]. Food science, 2014, 35(24): 343-347.
- [8] 赵喆,王菲,胡甜,等.5个薄壳山核桃品种形态及营养成分的分析[J].经济林研究,2023,41(3):159-168.
- ZHAO Z, WANG F, HU T, et al. Chunhua analysis of morphology and nutritional constituents of five *Carya illinoensis* cultivars[J]. Non-wood forest research, 2023, 41(3): 159-168.
- [9] WEI F, LI Y Y, SUN D H, et al. Odor, tastes, nutritional compounds and antioxidant activity of fresh-eating walnut during ripening[J]. Scientia horticulturae, 2022, 293: 110744.
- [10] 孙雯,宋淑亚,罗仁仙,等.采收期对青皮核桃抗氧化特性及耐贮性的影响[J].食品科学,2014,35(10):290-296.
- SUN W, SONG S Y, LUO R X, et al. Effect of harvest stage on antioxidant property and storability of green walnut fruits[J]. Food science, 2014, 35(10): 290-296.
- [11] 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S].北京:[出版者不详],2016.
- National food safety standard determination of fat in food: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: [s.n.], 2016.
- [12] 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:[出版者不详],2016.
- National food safety standard determination of protein in food: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: [s.n.], 2016.
- [13] 罗玉洁.基于高通量测序的中国甜柿 microRNAs 鉴定及分析[D].武汉:华中农业大学,2014.
- LUO Y J. Identification and characterization of microRNAs from Chinese PCNA persimmon based on high throughput sequencing[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [14] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- GAO J F. Experimental guidance of plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [15] 卢珍华,倪辉,杨远帆,等.间苯二酚法测定蜂蜜中果糖的研究[J].集美大学学报(自然科学版),2006,11(3):223-226.
- LU Z H, NI H, YANG Y F, et al. Study on determination fructose in honey by resorcinol method[J]. Journal of jimei university(natural science), 2006, 11(3): 223-226.
- [16] 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定:GB 5009.168—2016[S].北京:[出版者不详],2016.
- National food safety standard determination of fatty acids in food: GB 5009.168—2016[S]. Beijing: [s.n.], 2016.
- [17] 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定:GB 5009.124—2016[S].北京:[出版者不详],2016.
- National food safety standard determination of amino acids in food: GB 5009.124—2016[S]. Beijing: [s.n.], 2016.
- [18] 中华人民共和国农业部种植业管理司.植物中氮、磷、钾的测定:NY/T 2017—2011[S].北京:[出版者不详],2011.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China. Department of Crop Management. Determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plants: NY/T 2017—2011[S]. Beijing: [s.n.], 2016.
- [19] 全国饲料工业标准化技术委员会.饲料中钙、铜、铁、镁、锰、钾、钠和锌含量的测定 原子吸收光谱法:GB/T 13885—2017[S].北京:[出版者不详],2017.
- Feed Industry. Determination of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc in feed atomic absorption spectrometry: GB/T 13885—2017[S]. Beijing: [s.n.], 2017.
- [20] 黄宁,孙雯,马惠玲,等.不同气体参数对青皮核桃保鲜效应的影响[J].西北林学院学报,2018,33(6):89-93.
- HUANG N, SUN W, MA H L, et al. Effects of controlled atmosphere storage on green walnut fruit preservation and the parameters selection[J]. Journal of northwest forestry university, 2018, 33(6): 89-93.
- [21] 巩芳娥,虎云青,任志勇,等.不同解冻复鲜方式下冻藏鲜食核桃感官品质表现[J].现代食品,2022,28(12):92-96.
- GONG F E, HU Y Q, REN Z Y, et al. Sensory quality performance of frozen-stored fresh walnuts under different thawing and re-fresh methods[J]. Modern food, 2022, 28(12): 92-96.

- [22] 景鑫鑫, 颜敏华, 吴小华, 等. 不同冻藏温度对去青皮鲜核桃采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(10): 161-167.
- JING X X, XIE M H, WU X H, et al. Effects of different freezing temperatures on the post-harvest physiology and storage quality of peeled fresh walnuts[J]. Food and fermentation industries, 2019, 45(10): 161-167.
- [23] WEN C T, ZHANG Z Y, CAO L Y, et al. Walnut protein: a rising source of high-quality protein and its updated comprehensive review[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2023, 71(28): 10525-10542.
- [24] TEIXEIRA R T, KNORPP C, GLIMELIUS K. Modified sucrose, starch, and atp levels in two alloplasmic male-sterile lines of b. Napus[J]. Journal of experimental botany, 2005, 56(414): 1245-1253.
- [25] MA X, WANG W J, ZHENG C, et al. Quality evaluation of walnuts from different regions in china[J]. Foods, 2023, 12(22): 4123.
- [26] 常君, 张潇丹, 王开良, 等. 不同薄壳山核桃无性系种仁氨基酸组成的比较[J]. 经济林研究, 2020, 38(4): 125-133.
- CHANG J, ZHANG X D, WANG K L, et al. Comparison of amino acid composition of different clones of pecan[J]. Non-wood forest research, 2020, 38(4): 125-133.
- [27] 马艺杰, 王世全, 王晶, 等. 地方资源“鸡蛋皮核桃”经济性状主成分分析及综合评价[J]. 北方园艺, 2022(19): 36-40.
- MA Y J, WANG S Q, WANG J, et al. Analysis and comprehensive evaluation of economic characters of linxia ‘egg skin walnut’[J]. Northern horticulture, 2022(19): 36-40.
- [28] 杨钰琪, 余晓娥, 欧源, 等. 主成分分析和隶属函数法对不同种植模式下核桃营养品质的综合评价[J]. 林业科技通讯, 2022(12): 33-39.
- YANG Y Q, YU X E, OU Y, et al. Comprehensive evaluation of walnut nutritional quality under different planting patterns by principal component analysis and membership function method[J]. Forest science and technology, 2022(12): 33-39.
- [29] 彭佳佳, 张小军, 田鑫, 等. 核桃内种皮游离氨基酸呈味特征及其营养评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 226-232.
- PENG J J, ZHANG X J, TIAN X, et al. Study on flavor characteristics and nutritional evaluation of free amino acids in walnut pellicle[J]. Science and technology of food industry, 2023, 44(22): 226-232.
- [30] 张鹏, 杨旭昆, 米艳华, 等. 云南不同品种核桃果实品质分析与综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(14): 244-252.
- ZHANG P, YANG X K, MI Y H, et al. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of different varieties walnuts and pecan in yunnan[J]. Science and technology of food industry, 2024, 45(14): 244-252.
- [31] 陈芮蝶. 采收期对核桃果实品质及抗氧化活性的影响研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2022.
- CHEN R D. Influence on fruit quality and antioxidant activity from walnut different harvest period[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2022.
- [32] 陈利英, 马华冰, 强静莎. 早实核桃不同采收期果实品质变化动态研究[J]. 河北果树, 2020(4): 13-15.
- CHEN L Y, MA H B, QIANG J S. Study on dynamic change of fruit quality of early fruiting walnut at different harvesting stages[J]. Hebei fruits, 2020(4): 13-15.
- [33] 陈柏, 颜敏华, 吴小华, 等. 不同冷冻温度对‘清香’去青皮鲜核桃冻藏期间品质的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(3): 65-72.
- CHEN B, XIE M H, WU X H, et al. Effects of different freezing temperatures on quality of peeled fresh ‘Qingxiang’ walnut during freezing storage[J]. Non-wood forest research, 2019, 37(3): 65-72.
- [34] 陈柏, 颜敏华, 吴小华, 等. 5种保鲜剂对低温贮藏去青皮核桃感官品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2018(6): 40-44.
- CHEN B, XIE M H, WU X H, et al. Effects of 5 preservatives on sensory quality during cold storage of peeled green walnut fruit[J]. Gansu agricultural science and technology, 2018(6): 40-44.
- [35] 高文兰, 巩芳娥, 虎云青. ‘元丰’核桃不同采摘期表型性状及种仁风味物质的变化[J]. 农业科技通讯, 2021(8): 167-170.
- GAO W L, GONG F E, HU Y Q. Changes of phenotypic characters and kernel flavor substances of ‘Yuanfeng’ walnut at different picking stages[J]. Bulletin of agricultural science and technology, 2021(8): 167-170.
- [36] 郝金莲, 王如月, 罗莎莎, 等. 采收期对叶城县6个核桃品种品质影响初探[J]. 核农学报, 2023, 37(3): 649-659.
- HAO J L, WANG R Y, LUO S S, et al. Preliminary study on effect of harvesting times on the quality of six walnut varieties in

- Yecheng County[J].Journal of nuclear agricultural sciences,2023,37(3):649-659.
- [37] 陈玲.宜昌核桃资源的生物学特性研究[D].荆州:长江大学,2019.
- CHEN L.Biological characteristics of Yichang walnut resources[D].Jingzhou:Yangtze University,2019.
- [38] 沈旭,郑洁,侯如燕.核桃的营养价值及功效[J].食品安全导刊,2015(23):76-78.
- SHEN X,ZHENG J,HOU R Y.Nutritional value and efficacy of walnut[J].China food safety magazine,2015(23):76-78.
- [39] 周文君.湖南省4个薄壳山核桃品种果实生长发育规律及综合评价[D].长沙:中南林业科技大学,2022.
- ZHOU W J.Fruit growth and development regularity and comprehensive evaluation of four *Carya illinoensis* varieties in Hunan Province[D].Changsha:Central South University of Forestry and Technology,2022.
- [40] MATTHÄUS,ÖZCAN M M,AL JUHAIMI F ,et al.Effect of the harvest time on oil yield,fatty acid,tocopherol and sterol contents of developing almond and walnut kernels [J].Journal of oleo science,2018,67(1):39-45.
- [41] 杨曦.核桃鲜果采收、采后生理及贮藏保鲜技术研究[D].西安:陕西师范大学,2016.
- YANG X.The study of fresh walnut fruit on harvest date, postharvest physiology and preservative technology [D].Xi'an: Shaanxi Normal University,2016.
- [42] 布妈热娅木·艾山,潘俨,孙席,等.采收成熟度对核桃青皮褐变及相关代谢酶的影响[J].新疆农业科学,2022,59(12):3066-3074.
- BUMAREYAMU A,PAN Y,SUN X,et al.Effects of harvest maturity on browning and related metabolic enzymes of green walnut fruits[J].Xinjiang agricultural sciences,2022,59(12):3066-3074.
- [43] 魏芳.采后商品化处理对核桃品质的影响[D].济南:齐鲁工业大学,2020.
- WEI F.Effects of post-harvest commercial treatments on walnut quality[D].Jinan:Qilu University of Technology,2020.
- [44] 黄宁.鲜核桃风味物质组分与变化规律研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2020.
- HUANG N.Study on the composition and change profile of flavor compounds in fresh walnut[D].Xianyang:Northwest A&F University,2020.