

云南不同栽培区域油梨果实品质差异分析

代建菊^{1,2}, 李茂富³, 赵俊⁴, 慕尧⁵, 普天磊^{1,2}, 袁建民^{1,2}, 金杰^{1,2*}

(1 云南省农业科学院 热区生态农业研究所, 云南元谋 651300; 2 元谋干热河谷植物园, 云南元谋 651300; 3 海南大学 园艺学院, 海口 570228; 4 云南省绿色食品发展中心, 昆明 650224; 5 保山科思达农业发展有限公司, 云南保山 678000)

摘要:以云南 9 个不同栽培区域“哈斯”(Hass)油梨果实为试材,在同一条件下分别观测油梨果实主要内在与外观品质,分析云南不同栽培区域油梨果实主要品质差异,为探索云南油梨栽培适宜生态区域提供借鉴。结果表明:(1)油梨果实外观品质以单果重、种子重量、可食率变异系数较大,分别达到 31.31%、38.09%和 8.08%,并以 LJ 产区的油梨单果重和可食率最大;油梨果肉内在品质中以脂肪、可溶性蛋白、维生素 C(Vc)含量变异系数较大,分别为 37.57%、22.42%和 17.89%,脂肪含量以 BS 产区最高,可溶性蛋白和 Vc 含量均以 BN 产区最高。(2)油梨果实 Vc、总黄酮、脂肪含量以及单果果肉重、果实纵径等显著受到树龄和气候因子的综合影响。其中:树龄与脂肪、可溶性固形物、Vc、总黄酮含量呈正相关关系,与单果果肉重呈显著负相关关系;经度与脂肪、可溶性固形物、干物质、可溶性蛋白含量呈正相关关系;纬度与可溶性固形物、果肉密度、种子长度呈正相关关系,与 Vc、总黄酮含量呈显著负相关关系;海拔与脂肪、可溶性固形物、Vc、总黄酮含量呈正相关关系;年平均气温与果肉密度、单果重、单果果肉重、果实纵径呈正相关关系;年平均降雨量与脂肪、可溶性固形物含量呈正相关关系;年平均日照时数与脂肪、Vc、总黄酮含量呈正相关关系。(3)果实外观品质、脂肪、总黄酮和干物质含量等指标是评价云南油梨果实品质的重要因子,这 4 个主成分的累积方差贡献率达 68.955%;油梨品质因子综合分析得分排名前 3 位的产地依次是保山市潞江坝镇(LJ)、龙陵县(LL)、保山(BS),分别达到 0.833、0.611 和 0.551。(4)云南 9 个产地油梨果实可聚类划分为 3 类,第 I 类为耿马县(GM)、永德县(YD)、元谋县(YM)、芒市遮放镇(ZF)产区,该类油梨果实大小中等、种子偏小、可食率高且干物质、Vc、可溶性蛋白含量高;第 II 类为景洪市(BN)、芒市轩岗乡(XG)产区,该类油梨果实偏小、种子小、可食率高且 Vc、可溶性蛋白、总黄酮含量相对较高,而干物质和脂肪含量相对偏低;第 III 类为 LJ、LL、BS 产区,该类油梨果实大、果肉多、肉质厚、种子大且脂肪、干物质、Vc、可溶性蛋白、总黄酮含量高,综合品质最好。研究认为,云南油梨果实品质在不同产地间存在显著差异,并显著受到树龄与生态因子的综合影响。

关键词:油梨;果实品质;主成分分析;聚类分析

中图分类号:Q945.6⁺5; S667.9 **文献标志码:**A

Analysis of Fruit Quality Differences of Avocado in Different Cultivation Areas in Yunnan

DAI Jianju^{1,2}, LI Maofu³, ZHAO Jun⁴, MU Yao⁵, PU Tianlei^{1,2}, YUAN Jianmin^{1,2}, JIN Jie^{1,2*}

(1 Institute of Tropical Eco-agricultural Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou, Yunnan 651300, China; 2 Yuanmou Dry-hot Valley Botanical Garden, Yuanmou, Yunnan 651300, China; 3 College of Horticulture, Hainan University, Haikou 570228, China; 4 Green Food Development Center of Yunnan Province, Kunming 650224, China; 5 Costa [Baoshan] Agricultural Development Co Ltd., Baoshan, Yunnan 678000, China)

收稿日期:2022-07-05;修改稿收到日期:2023-01-11

基金项目:云南省科技厅 2022 年度省级外国专家项目“云南干热河谷区油梨绿色高效生产栽培技术示范推广”(202205AQ130005)

作者简介:代建菊(1986-),女,学士,助理研究员,主要从事作物资源及资源开发利用研究。E-mail:rqsddj@163.com

* 通信作者:金杰,研究员,主要从事作物资源与草地生态研究工作。E-mail:ynjinjie@126.com

Abstract: Taking the fruits of Hass avocado in 9 different cultivation areas in Yunnan as test materials, we observed the main internal and external quality of avocado fruits after ripening under the same conditions, in order to analyze the main quality differences of avocado fruits in different cultivation areas in Yunnan and explore the suitable ecological region for avocado cultivation in Yunnan. The results showed that: (1) in terms of appearance indexes, the coefficient of variation of avocado single fruit weight, seed weight and edible rate in different production areas was large, which were 31.31%, 38.09% and 8.08%, respectively. The single fruit weight and edible rate of avocado in LJ production area were the largest. The coefficient of variation of fat, soluble protein and Vc contents in the internal quality of pulp was large, which were 37.57%, 22.42% and 17.89%, respectively. The production area with the highest fat content was BS, and the production area with the highest soluble protein and Vc contents was BN. (2) Correlation analysis showed that Vc, total flavonoids, fat contents, pulp weight per fruit and fruit longitudinal stem quality of avocado fruit were significantly affected by tree age and climate factors. Among them, tree age was positively correlated with fat, soluble solids, Vc and total flavonoids, and significantly negatively correlated with pulp weight per fruit. Longitude was positively correlated with fat, soluble solids, dry matter and soluble protein. Latitude was positively correlated with soluble solids, pulp density and seed length, and significantly negatively correlated with Vc and total flavonoids. Altitude was positively correlated with fat, soluble solids, Vc and total flavonoids. The annual average temperature was positively correlated with pulp density, single fruit weight, single fruit pulp weight and fruit longitudinal stem. The annual average rainfall was positively correlated with fat and soluble solids. The annual average sunshine hours were positively correlated with fat, Vc and total flavonoids. (3) Principal component analysis showed that the quality index was an important factor to evaluate the fruit quality of avocado in Yunnan, and the cumulative variance contribution rate of the four principal components was 68.955%. The result of factor analysis showed that the top three places of origin were LJ, LL and BS, which were 0.833, 0.611 and 0.551, respectively. (4) Cluster analysis showed that avocado from nine producing areas in Yunnan could be divided into three categories. The first category was GM, YD, YM and ZF. This kind of avocado fruit had the characteristics of medium fruit size, small seeds, high edible rate, high dry matter, Vc and soluble protein contents. The second category was BN and XG. This kind of avocado fruit were the points of small fruit, small seed, high edible rate, relatively high contents of Vc, soluble protein and total flavonoids, and relatively low content of dry matter fat. The third category was LJ, LL and BS, which were characterized by large fruit, many pulp, thick meat, large seeds and high contents of fat, dry matter, Vc, soluble protein and total flavonoids. It could be seen that tree age and ecological factors had a significant impact on avocado fruit quality. There were significant differences in avocado fruit quality from different places in Yunnan. LJ, LL, BS producing areas were the best ecological areas for avocado fruit comprehensive quality in Yunnan.

Key words: avocado; fruit quality; principal component analysis; cluster analysis

油梨(*Persea americana*)为樟科鳄梨属常绿乔木,别名牛油果、鳄梨、樟梨、酪梨等,是樟科类植物中唯一一种可以食用的水果^[1]。油梨果肉含有丰富的不饱和脂肪酸,享有“森林黄油”之美称^[2]。油梨除含有多种维生素、矿物质、蛋白质外,并以极低的含糖量特征明显区别于其他水果,是现代人们对健康生活向往所追捧的不可多得的一种保健型高档水果^[3]。

目前,中国市场对油梨的需求仍处于供不应求阶段,极大程度依赖于进口,价格也持续攀升,但进口油梨因储运周期长而致品质难以保障。故近年来,中国油梨产业发展迅速,特别是云南已发展成为

中国种植规模最大的产区。云南油梨产区分布范围较广,生态环境差异性较大。生态环境因子与果树生长发育、果实产量与品质密切相关^[4],栽培品种的选择与栽培技术方案的制定因生态环境因子而异^[5]。但目前云南油梨产业尚处于起步阶段,生态环境因子对油梨果树及果实生长发育影响研究明显不足,栽培技术远远满足不了生产之需,严重影响着云南油梨产区油梨产业的生产效益和健康、可持续发展。故本研究以云南境内不同生态产区已投产的‘哈斯’油梨果实为研究对象,观测其外观品质和内在品质性状,并对油梨果实性状、品质与生长的气候环境进行相关性分析、主成分分析和聚类分析,考察

云南不同产区果实品质主要差异,探索云南产区生态因子对油梨果实品质的实际影响,从而为云南油梨产区合理布局、新品种推广应用、因地制宜制定标准化栽培技术奠定基础。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验油梨品种为‘哈斯’(Persea americana Mill. cv. Hass),砧木品种为本砧,于2021年10月采集于云南省5个州(市)7个县(市、区)9个油梨种植园(油梨基地),具体详见表1。在每个取样点随机选取3株生长正常的油梨果树作为采样株,每株采10个生长正常、无病虫害果实并编号,首先测量外观品质,然后经过统一后熟处理后测量内在品质指标。

1.2 仪器与设备

试验仪器和设备包括酶标仪(型号 Multi-skanG)、离心机(型号 3H16RI)、雪花制冰机 XB-70(宁波新芝生物科技股份有限公司)、热泵干燥机(型

号 L3.5YB1)、超声波清洗器(型号 KQ5200E)和电热恒温水浴锅(型号 DZKW-0-4)等。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 外观品质 参照农业农村部《热带、亚热带果树种质资源描述规范》^[6]观测油梨单果重、果肉重量、可食率、果实纵径、果实横径和果形指数;种子长度为商品成熟果实中种子的最大纵径,种子直径为正常生长成熟果实中种子的最大横径;种形指数为种子长度/种子直径;用排水法测量果实果肉的重量和体积,并用公式($\rho = m/v$)计算果肉密度,其中 ρ 表示密度, m 表示物体质量, v 表示物体体积。

1.3.2 果实内在品质 干物质含量测定采用称重法,先称取新鲜油梨果肉重量,再烘烤至恒重,称取样品干重,按照公式[干样品重量(减去容器重量)/新鲜油梨样品重量(减去容器重量)×100%]计算干物质含量;脂肪含量参照石油醚浸泡法测定^[7-9];维生素C含量采用钼蓝比色法测定;可溶性糖含量参照蒽酮法测定^[10];可溶性蛋白含量参照考马斯亮法测定^[11];总黄酮含量参照周孟焦等^[12]的芦丁对照法测定。

表1 云南省不同油梨产区信息

Table 1 Information of different avocado production areas in Yunnan Province

样品编号 Number of samples	油梨基地地址 Avocado base address	树龄 Tree-age /年	经度 Longitude (E)/°	纬度 Latitude (N)/°	海拔 Altitude /m	最高气温 The high temperature /°C	最低气温 Very low temperature /°C	年平均气温 Annual average temperature /°C	年平均降雨量 Average annual rainfall precipitation /mm	年平均日照时数 Annual average sunshine hours/h
GM	临沧市耿马县孟定镇 Mengding Town, Gengma County, Lincang City	2	99.4162	23.5999	1147.00	35.5	-2.0	21.7	1600.0	2450.0
BS	保山市隆阳区芒宽乡 Mangkuan Township, Longyang District, Baoshan City	2	98.5236	25.3211	950.00	32.4	-3.8	15.5	966.5	2417.9
LJ	保山市隆阳区潞江坝镇 Lujiangba Town, Longyang District, Bao-shan City	2	99.1766	25.1168	745.00	32.4	-3.8	15.5	966.5	2417.9
LL	保山市龙陵县碧寨乡 Bizhai Township, Longling County, Bao-shan City	2	99.0850	24.1805	1300.00	22.9	3.8	14.9	800.0	2071.0
ZF	德宏州芒市遮放镇 Zhaifang Town, Mangshi, Dehong Prefecture	6	98.1469	24.2248	807.00	36.2	-0.6	19.8	1650.0	2452.0
BN	西双版纳州景洪市勐龙镇 Menglong Town, Jinghong City, Xishuangbanna Prefecture	3	100.6267	21.6597	1200.00	40.3	7.9	21.4	1400.0	2300.0
XG	德宏州芒市轩岗镇 Xuanguang Town, Mangshi City, Dehong Prefecture	6	98.4457	24.4249	867.00	36.2	-0.6	19.8	1650.0	2452.0
YM	楚雄州元谋县江边乡 Jiangbian Town, Yuanmou County, Chuxiong Prefecture	1.3	102.0626	25.9692	1131.34	42.0	-0.1	21.9	613.8	2670.4
YD	临沧市永德县永康镇 Yongkang Town, Yongde County, Lincang City	4	99.3855	24.1103	1180.70	32.1	2.1	17.4	1283.0	2196.1

注:表中数据根据种植县政府网公示气候信息及种植区域GPS定位气象资料整理

Note: The data in this table are arranged on the planting county government network to publicize climate information and GPS positioning meteorological data in the planting area

1.4 数据处理

采用 WPS Office Excel 2016 软件进行数据整理、计算。利用 SPSS 22.0 统计软件进行显著性检验分析、相关性分析^[13]、主成分分析^[14]、载荷矩阵^[15],用 R 软件进行聚类分析及图形制作,利用 ArcGIS 软件制作地图等。

2 结果与分析

2.1 不同种植区域油梨果实品质差异分析

2.1.1 果实外在品质 ‘哈斯’油梨各外在品质指标在云南不同种植区域之间均存在显著差异(表 2)。其中,种子重量、单果重、果肉厚度在不同种植区域间变异幅度较大,变异系数分别达 38.09%、31.31%和 23.84%,而可食率、果实纵径、果实横径、果形指数、种子长度、种子直径和种形指数在不同种植区域差异较小,变异系数在 8.08%~18.74%之间。各产区‘哈斯’油梨果实的平均单果重、平均可食率和平均果形指数分别为 191.53 g、67.32%和 1.37,并以 LJ 产区的果实单果重(282.93 g)、可食率(71.28%)最大,LL 产区的果形指数最大(1.59),分别是最小产区的 2.13 倍、1.15 倍和 1.23 倍;各产区种子形状差异也较大,种形指数介于 0.96~1.20 之间,平均种形指数为 1.07,并以 BN 产区的种形指数最大(1.20),比最低产区 GM(0.96)高出 24.98%。由此可见,不同产区油梨果实形态、种子形态与外观品质均存在显著差异。

2.1.2 果实内在品质 ‘哈斯’油梨果实内在品质除果肉密度外在不同种植区域间均存在显著性差异(表 3)。果实营养成分以脂肪、可溶性蛋白含量在种植区之间差异最明显,变异系数分别达 37.57%和 22.42%;而果实可溶性固形物、维生素 C(Vc)和总黄酮含量在种植区间差异为中等,变异系数分别为 17.7%、17.89%和 16.08%;而果实干物质、果肉密度则在种植区间差异最小,变异系数分别达 8.71%和 2.67%。其中,哈斯油梨果实脂肪和可溶性蛋白平均含量分别为 9.24%和 415.41 mg/(100 g),变幅分别为 4.03%~13.07%和 326.23~517.90 mg/(100 g),并分别以 BS 和 BN 产区含量最高。哈斯油梨可溶性固形物平均含量为 1.65%,变幅为 1.33%~1.94%,其中的 LL、YM、YD、XG 产区较高(1.75%~1.94%),且四者间差异性不显著($P > 0.05$);哈斯油梨每 100 g 果肉中 Vc 平均含量为 33.06 mg,变幅为 30.30~41.24 mg/(100 g),并以 BN 产区含量最高,且与其余产区差异显著;哈斯油

梨每 100 g 果肉中总黄酮平均含量为 12.9 mg,变幅为 11.51~15.19 mg/(100 g),并以 BN 产区最高,且与除 ZF、BS 以外的产区差异显著。哈斯油梨的干物质含量平均为 26.82%,变幅为 25.26%~28.79%,并以 YD 产区最高;果肉密度平均值为 0.98 g/cm³,其在不同种植区域间差异均不显著($P > 0.05$)。由此可见,油梨果实脂肪、可溶性蛋白、可溶性固形物含量等主要内在品质在不同产区间均存在显著差异。

2.2 油梨果实品质与种植区域气候因子的相关性分析

以部分气象因子、树龄作为自变量,油梨果实的内、外品质作因变量,分析不同种植区域气候因子以及树龄对油梨果实品质的影响,所得偏相关系数和综合偏相关系数(表 4)显示,油梨果实中的干物质、脂肪、可溶性固形物、Vc、可溶性蛋白、总黄酮含量均随油梨树龄增加而增大,呈正相关关系;油梨果实的干物质、脂肪、可溶性固形物和可溶性蛋白含量也均与种植区经度呈正相关关系;油梨果实的干物质含量、可溶性固形物含量、果肉密度、单果重、果实纵径、果形指数、果肉厚度、种子长度、种子直径和种子重量均与种植区纬度呈正相关关系;油梨果实中的干物质、脂肪、可溶性固形物、Vc、可溶性蛋白、总黄酮的含量以及种形指数随海拔的升高而增加,并呈正相关性;果肉密度、单果重、果肉重、果实纵径、果实横径、果形指数、果肉厚度、种子长度、种子直径、种形指数和种子重量 11 个指标均与年平均气温呈正相关关系;油梨果实中的干物质、脂肪、可溶性固形物、可溶性蛋白的含量以及种子直径与年平均降雨量呈正相关性,降雨量越多,含量随之增加;油梨中干物质、脂肪、Vc、可溶性蛋白、总黄酮的积累受年平均日照时数的影响,呈正相关性,同时影响可食率、种形指数的大小。但油梨果实的果肉密度、单果重、果肉重、果实纵径、果实横径、果形指数、果肉厚度和种子长度 8 个指标与树龄大小、经度、海拔、年平均降雨量和年平均日照时数 5 个气候因子呈负相关关系。

同时,从表 4 还可知,树龄、经度、海拔、年平均气温、年平均降雨量、年平均日照时间与油梨果实外在品质指标相关程度较高的前 3 个为果肉重、单果重、果肉密度,并表现为果肉重>单果重>果肉密度,它们与油梨内在品质指标相关程度较高的前 3 个为可溶性蛋白、干物质、脂肪,并表现为可溶性蛋白>干物质>脂肪。其中,树龄与果肉重呈显著负相关,即树龄越大,如果不科学管理会使油梨产量降

表 2 不同种植区域油梨果实外在品质性状比较

Table 2 The fruit external quality characteristics of avocado from different planting areas

种植区域 Planting area	单果重 Fruit weight/g	可食率 Edible rate/%	果实纵径 Fruit length/mm	果实横径 Fruit diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	果肉厚度 Pulp thickness/mm	种子长度 Seed length/mm	种子直径 Seed diameter/mm	种形指数 Seed shape index	种子重量 Seed weight/g
GM	157.17±4.83de	68.07±0.70a	82.97±1.00c	62.58±0.92d	1.33±1.18b	16.29±0.81ab	34.51±0.88cd	35.91±0.82cd	0.96±0.69d	28.00±1.85cd
BS	242.66±6.02b	69.41±1.68a	98.36±2.63b	75.02±0.89ab	1.31±1.97b	17.16±0.45ab	41.03±0.21a	42.22±0.25ab	0.97±0.88cd	44.52±0.61a
LJ	282.93±2.22a	71.28±1.64a	105.33±1.69b	77.01±0.35a	1.37±2.52b	18.38±1.01a	43.09±0.75a	44.16±1.36a	0.98±3.44cd	45.30±1.45a
LL	272.90±7.21a	66.82±0.73ab	116.45±4.65a	73.15±0.63b	1.59±6.33a	18.62±0.25a	43.63±0.95a	39.47±0.29bc	1.10±1.75abc	42.08±1.20a
ZF	184.83±9.05c	62.88±1.12bc	85.17±0.58c	66.34±1.76c	1.29±4.37b	14.02±0.81b	35.63±0.52bc	34.92±2.04de	1.05±5.27bcd	34.80±0.51b
BN	150.66±8.43def	68.00±1.05a	83.48±2.14c	60.70±1.50de	1.38±4.32b	13.67±1.00b	32.48±1.22d	28.15±2.09f	1.20±9.88a	17.79±2.74e
XG	133.04±8.11f	70.74±1.86a	79.84±1.12c	57.85±1.53e	1.39±3.45b	17.51±2.69ab	32.33±1.17d	28.86±1.97f	1.14±3.79ab	17.32±3.48e
YM	135.13±6.16ef	66.84±1.67ab	79.21±1.71c	60.49±1.11de	1.31±2.34b	14.85±0.59ab	35.51±1.33bc	31.18±1.23ef	1.14±2.69ab	22.29±2.30de
YD	164.41±12.03cd	61.80±2.71c	85.84±5.57c	63.14±1.63cd	1.35±6.92b	15.01±1.37ab	37.48±1.07b	36.18±1.18cd	1.04±2.56bcd	31.99±2.64bc
平均值 Average	191.53±59.97	67.32±5.44	90.74±14.74	66.25±7.56	1.37±14.57	16.17±3.85	37.29±4.91	35.67±6.68	1.07±14.78	31.57±12.02
变异系数 CV/%	31.31	8.08	16.24	11.41	10.64	23.84	13.18	18.74	13.88	38.09

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著(P<0.05)。下同

Note: Different normal letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level (P<0.05). The same as below

表 3 不同种植区域油梨果实内在品质比较

Table 3 The internal fruit quality characteristics of avocado from different planting areas

种植区域 Planting area	干物质含量 Dry matter/%	脂肪含量 Fats content/%	可溶性固形物含量 Soluble solids/%	维生素C含量 Vitamin C/(mg/100 g)	可溶性蛋白含量 Soluble protein/(mg/100 g)	总黄酮含量 Total flavonoid content/(mg/100 g)	果肉密度 Fruit density/(g/cm ³)
GM	25.77±0.55bc	5.43±0.11d	1.56±0.11bc	30.56±0.91b	400.32±33.64cd	13.03±0.27b	0.977±0.005a
BS	27.32±0.16abc	13.07±0.52a	1.55±0.03bc	32.89±0.84b	358.19±8.90d	13.42±0.54ab	0.970±0.011a
LJ	26.75±0.99abc	11.62±0.18ab	1.39±0.02cd	30.99±0.46b	398.38±19.94cd	12.98±0.60b	0.990±0.007a
LL	25.26±0.77c	11.86±0.34ab	1.80±0.10a	32.51±1.31b	404.63±25.85cd	11.51±0.19b	0.980±0.002a
ZF	27.68±0.54ab	4.03±0.12d	1.56±0.07bc	34.06±1.48b	326.23±11.60d	13.48±0.53ab	0.980±0.004a
BN	25.58±0.75bc	8.11±0.97c	1.33±0.05d	41.24±3.78a	517.90±42.66a	15.19±1.23a	0.970±0.008a
XG	25.73±0.55bc	7.48±0.61c	1.75±0.06ab	33.75±1.83b	497.56±21.70ab	12.97±0.50b	0.980±0.017a
YM	28.51±0.71a	10.12±0.94b	1.94±0.05a	30.30±1.57b	441.74±20.68bc	11.84±0.72b	0.980±0.007a
YD	28.79±0.86a	11.44±0.94ab	1.94±0.09a	31.27±1.38b	393.72±26.93cd	11.69±0.41b	0.970±0.010a
平均值 Average	26.82±2.33	9.24±3.47	1.65±0.29	33.06±5.91	415.41±93.14	12.90±2.07	0.980±0.030
变异系数 CV/%	8.71	37.57	17.7	17.89	22.42	16.08	2.67

表 4 树龄、气候因子对不同种植区油梨品质的偏相关系数

Table 4 Partial correlation coefficient of tree age and climate factors on avocado quality in different planting areas

果实品质 Fruit quality	树龄 Tree-age	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude	年平均气温 Annual average temperature	年平均 降雨量 Average annual rainfall	年平均 日照时数 Annual average	综合偏相 关系数 <i>r</i>
干物质 Dry matters	0.413	0.569	0.276	0.304	-0.428	0.464	0.274	0.390
脂肪 Fats	0.897	0.956	-0.802	0.945	-0.972	0.902	0.942	0.917
可溶性固形物 Soluble solids	0.981	0.968	0.995	0.975	-0.494	0.955	-0.800	0.881
维生素 C Vitamin C	0.995	-0.890	-0.998*	0.975	-0.972	-0.985	0.991	0.972
可溶性蛋白 Soluble protein	0.347	0.381	-0.353	0.187	-0.265	0.142	0.239	0.273
总黄酮 Total flavonoid content	0.967	-0.842	-0.998*	0.938	-0.975	-0.875	0.992	0.941
单果重 Fruit weight	-0.982	-0.975	0.293	-0.980	0.950	-0.974	-0.966	0.874
果肉重 Pulp weight	-0.997*	-0.995	-0.521	-0.997	0.988	-0.995	-0.992	0.926
可食率 Edible rate	-0.199	-0.071	-0.323	-0.024	-0.131	-0.027	0.214	0.141
果实纵径 Fruit length	-0.970	-0.975	0.512	-0.967	0.958	-0.976	-0.967	0.904
果实横径 Fruit diameter	-0.828	-0.773	-0.225	-0.734	0.421	-0.730	-0.495	0.601
果形指数 Fruit shape index	-0.307	-0.556	0.254	-0.483	0.613	-0.638	-0.644	0.499
果肉厚度 Pulp thickness	-0.476	-0.239	0.368	-0.264	0.184	-0.046	-0.295	0.267
种子长度 Seed length	-0.921	-0.762	0.798	-0.875	0.719	-0.786	-0.872	0.819
种子直径 Seed diameter	-0.853	-0.276	0.615	-0.574	0.134	0.206	-0.495	0.450
种形指数 Seed shape index	0.817	-0.056	-0.676	0.143	0.135	-0.697	0.158	0.383
种子重量 Seed weight	-0.668	-0.520	0.328	-0.481	0.293	-0.332	-0.422	0.435

注: * 表示 $P < 0.05$ (显著相关)

Note: * indicates $P < 0.05$ (significant correlation)

低;纬度与总黄酮和 Vc 含量呈显著负相关性,即纬度(北纬)越高,油梨果实总黄酮和 Vc 的含量越高。

另外,结合表 4 中相关系数,将横栏中的绝对值相加求得的平均值即为综合偏相关系数,根据综合偏相关系数进行排名,得出树龄和气候因子影响油梨果实品质各指标综合相关程度为 Vc > 总黄酮 > 果肉重 > 脂肪 > 果实纵径 > 可溶性固形物 > 单果重 > 果肉密度 > 种子长度 > 果实横径 > 果形指数 > 种子直径 > 种子重量 > 干物质 > 种形指数 > 可溶性蛋白 > 果肉厚度 > 可食率。

2.3 不同种植区域油梨果实内外在品质的综合评价

2.3.1 果实品质的主成分分析 为了从多个变量中找到起主导作用的因素,对不同种植区域油梨果实内外品质进行主成分分析。结果(表 5 和图 1)显示,按照特征值大于 1 的选取原则,共提取 5 个主成分(PC1、PC2、PC3、PC4、PC5),累计方差贡献率为 74.945%,通过降维的方式,由提取的 5 个主成分综合代替原始评价指标的大部分信息。其中,PC1 的方差贡献率为 37.278%,正值且较大的特征向量代表为 FW(单果重)、FD(果实横径)、SW(种子重量)、SL(种子长度)、PW(果肉重)、SD(种子直径)、FL(果实纵

表 5 不同区域油梨果实因子主成分分析结果

Table 5 Results of principal component analysis of avocado fruit factors in different regions

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
PC1	6.710	37.278	37.278
PC2	2.591	14.397	51.675
PC3	1.807	10.042	61.717
PC4	1.303	7.239	68.955
PC5	1.078	5.990	74.945

径);PC2 方差贡献率为 14.397%,其 FS(果形指数)、SS(种形指数)、FD、Fat(脂肪含量)的特征值较大,组成其变异的主要因素;在 PC3 中,TFC(总黄酮含量)、ER(可食率)和 Vc(维生素 C 含量)特征向量值较大,是引起 PC3 变异的主要因素;同时,引起 PC4 变异的主要因素是 DM(干物质含量),而 PT(果肉厚度)和 ER 是构成 PC5 变异的主要因素。

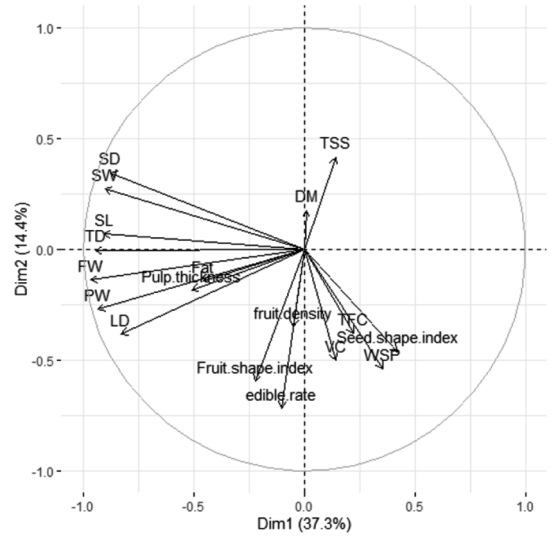
2.3.2 果实品质因子旋转后的因子载荷矩阵 依据旋转后的因子载荷矩阵(表 7),采用主成分 PC1 ~ 5 代替原来的 18 个油梨内外品质指标进行综合

评价,其中数值越大,代表性越强。通过贡献率的权重与特征值的乘积建立综合评价函数: $F=0.497F_1+0.192F_2+0.134F_3+0.097F_4+0.080F_5$, F 为不同区域种植油梨的果实内外品质综合评分,对得到的综合评分进行从高到低的排名(表6)。结果表明,保山市潞江坝镇(LJ)的油梨果实的综合得分最高,排名第一,其次是龙陵县(LL)的油梨果;综合品质指标得分情况具体为:保山潞江坝镇(LJ)>龙陵县(LL)>保山(BS)>芒市遮放(ZF)>永德县(YD)>景洪市(BN)>耿马县(GM)>元谋县(YM)>芒市轩岗乡(XG);综合得分和排名可以直接反映不同种植区域油梨果实的品质差异,但不能排除受试验果实数量、不同种植企业果园管理水平高低,以及自然因素(海拔、温度、湿度、光照、土壤)等综合因素的影响。

2.3.3 果实品质的聚类分析 利用 SSPS 进行系统聚类个案分析,采用组之间的链接法将 9 个不同油梨种植区域进行聚类分析(图 2)。在欧式距离^[16]为 15 处,将油梨种植区域共分为 3 大类。第一类是包括耿马县、永德县、元谋县、芒市遮放乡,其果实的干物质、可溶性固形物、可溶性蛋白含量较高,可食率较低,种子重量较轻,可用于高甜度、高蛋白、香味浓郁油梨资源培育区;第二类包括景洪市、芒市轩岗镇,其中果实的 Vc、可溶性蛋白、总黄酮含量以及可食率较高,种子重量最轻,可用于高食用率油梨资源培育区;第三类包括保山市潞江坝镇、龙陵县、保山市,表现出优良的品质性状,其中代表的综合指标较多,其果实干物质含量、脂肪含量、单果重、果肉重、可食率、果实纵径、果实横径、果形指数、果肉厚度、种子重量较高,种形指数较小,可用于高脂肪含量油

梨资源培育区。

同时,利用 SPSS 软件进行系统聚类变量分析



DM. 干物质含量; Fat. 脂肪含量; TSS. 可溶性固形物含量; Vc. 维生素 C 含量; WSP. 可溶性蛋白含量; TFC. 总黄酮含量; FD. 果肉密度; FW. 单果重; PW. 果肉重; ER. 可食率; FL. 果实纵径; FD. 果实横径; FS. 果形指数; PT. 果肉厚度; SL. 种子长度; SD. 种子直径; SS. 种形指数; SW. 种子重量; Dim1 代表主成分 1; Dim2 代表主成分 2

图 1 不同种植区域油梨果实因子主成分辐射图
DM. Dry matters content; Fats. Fats content; TSS. Soluble solids content; Vc. Vitamin C content; WSP. Water soluble protein content; TFC. Total flavonoid content; FD. Fruit density; FW. Fruit weight; PW. Pulp weight; ER. Edible rate; FL. Fruit length; FD. Fruit diameter; FS. Fruit shape index; PT. Pulp thickness; SL. Seed length; SD. Seed diameter; SS. Seed shape index; SW. Seed weight; Dim1 stand for PC1; Dim2 stand for PC2

Fig. 1 Radiation diagram of principal components of avocado fruit factors in different planting regions

表 6 不同区域油梨品质因子综合分析得分及排名

Table 6 Comprehensive analysis score and ranking of avocado quality factors in different regions

种植区域 Planting areas	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	综合得分 F Synthesis score F	排名 Ranking
GM	-0.222	-0.165	0.016	-0.011	0.026	-0.355	7
BS	0.499	-0.060	0.055	0.043	0.014	0.551	3
LJ	0.685	0.006	0.084	0.018	0.041	0.833	1
LL	0.572	0.208	-0.129	-0.059	0.019	0.611	2
ZF	0.012	-0.099	0.076	0.046	-0.097	-0.063	4
BN	-0.394	0.062	0.155	-0.104	-0.043	-0.324	6
XG	-0.592	0.030	-0.024	-0.052	0.065	-0.573	9
YM	-0.447	0.033	-0.096	0.057	0.007	-0.445	8
YD	-0.114	-0.015	-0.137	0.061	-0.032	-0.236	5

表 7 旋转后的因子载荷矩阵

Table 7 Factor load matrix after rotation

品质 Quality	因子 1 Factor 1(F_1)	因子 2 Factor 2(F_2)	因子 3 Factor 3(F_3)	因子 4 Factor 4(F_4)	因子 5 Factor 5(F_5)
单果重 Fruit weight	0.959	0.132	0.069	0.004	0.148
果实横径 Fruit diameter	0.944	-0.060	0.104	0.051	0.149
种子重量 Seed weight	0.943	-0.153	-0.129	0.084	-0.116
种子长度 Seed length	0.912	0.066	-0.163	0.023	0.022
果肉重 Pulp weight	0.904	0.186	0.173	-0.002	0.273
种子直径 Seed diameter	0.876	-0.364	-0.116	0.097	0.107
果实纵径 Fuit length	0.790	0.485	-0.066	-0.094	0.216
脂肪含量 Fat content	0.38	0.368	-0.212	0.179	0.247
果形指数 Fruit shape index	0.165	0.796	-0.167	-0.185	0.172
种形指数 Seed shape index	-0.384	0.659	0.055	-0.127	-0.285
果肉密度 Fruit density	0.022	0.506	0.123	0.179	0.035
总黄酮含量 Total flavonoid content	-0.207	0.019	0.776	0.127	0.091
可溶性固形物含量 Soluble solids content	-0.218	0.092	-0.751	0.301	0.023
干物质含量 Dry matters content	-0.047	0.181	0.090	0.787	-0.071
维生素 C 含量 Vitamin C content	-0.022	0.219	0.395	-0.608	-0.312
可溶性蛋白含量 Water soluble protein	-0.377	0.175	0.162	-0.587	0.259
果肉厚度 Pulp thickness	0.373	-0.051	-0.051	-0.065	0.732
可食率 Edible rate	-0.009	0.342	0.495	-0.067	0.659

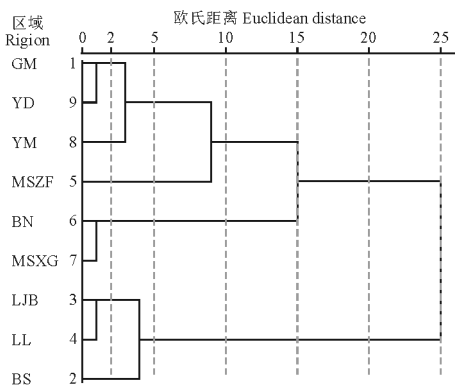


图 2 不同区域油梨果实品质个案聚类图

Fig. 2 Cluster diagram of avocado fruit quality cases in different regions

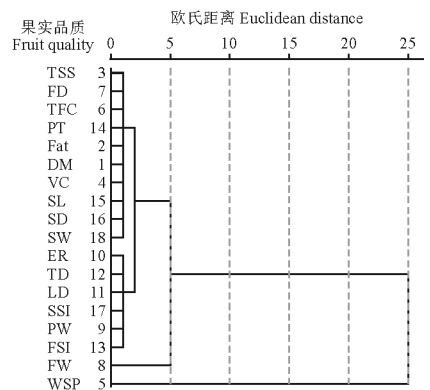


图 3 不同区域油梨果实品质变量聚类图

Fig. 3 Cluster diagram of avocado fruit quality variables in different regions

(图 3),在欧式距离为 2 处,对不同油梨种植区域的 18 个品质指标变量进行聚类,共分为 4 类。其中,第一类聚集了可溶性固形物、果肉密度、总黄酮、果肉厚度、脂肪、干物质、Vc、种子长度、种子直径、种子重量;第二类聚集了可食率、果实横径、果实纵径、种形指数、果肉重、果形指数;第三类代表指标为单果重;第四类代表指标为可溶性蛋白。据此结果,最终明确脂肪含量、可食率、单果重、可溶性蛋白含量为油梨品质评价的核心指标。

3 讨论

3.1 油梨果实内外品质指标在种植区间的变异特征

果实品质之间的差异是衡量果实品质优劣的标尺^[17]。云南油梨果实单果重、果肉重、果肉厚度、种子重量变异系数在 23.84%~38.09%之间,可见在不同生态区域种植出来的油梨果实存在一定的差异。根据市场分级划价以及不同需求群体的实际情况,本研究提出等级标准划价的概念,大果适合家庭

式分享,中小果倾向单身年轻者;根据利用价值和满足感取向,本研究提出高可食率概念。干物质含量可初步判断油梨果实的成熟度,而脂肪含量则是果实含油量和风味最重要的指标^[18]。油梨中具有较高的脂肪含量,其中包含多种不饱和脂肪酸^[19],占80%左右^[20],是油梨风味独有特征。通过干物质初步判断和脂肪相结合筛选,结合气候环境条件,本研究提出早、中、晚熟品种的优化组合开发,以满足市场的周年供应。油梨作为符合消费理念的健康果品种类,国内的进口消费量每年呈几何倍数递增,销售价格一直维持高位^[21]。中国是世界‘哈斯’油梨主要进口国之一。官方数据显示,中国在油梨进口国中排名第九^[22]。据中国海关统计,2018年,油梨在中国进口产品中高达4.39万t,同比增长37%;2011年的进口量仅为31.8t。数据还显示,油梨的进口逐年递增,均价也呈递增趋势。因此,可以利用云南丰富的热区山地资源发展油梨产业,不但可以保证国内吃到最新鲜的油梨果,还可以缓解国内油梨市场的供求关系。

总黄酮含量反映抗氧化活性的重要组成指标之一,具有较强的抗氧化能力^[18,23],目前已在化妆品中成功使用。油梨蛋白含有人体所有必需氨基酸,与大豆蛋白相似:WHC和OHC分别为6.60g/g和5.53g/g,远高于大豆蛋白(5.53g/g和3.91g/g),与之相比,油梨蛋白具有较高的自由基清除能力^[24]。本研究9个种植地油梨果肉中脂肪、总黄酮、可溶性蛋白、可溶性糖和Vc含量变异系数在16.08%~37.57%之间,具有较大的环境可塑性空间。前人在果树方面的研究也表明,品种、产地的气候因素及地理状况、栽培管理水平等会综合影响果树品质的表型^[25]。再次说明可溶性糖含量也是影响油梨口感的重要因素,但没有详细报道具体糖含量动态变化对油梨风味的影响,值得深入研究。

3.2 油梨果实品质评价指标的客观选择

油梨为中国近年的“新秀”果树品种,果实品质评价虽有报道,但系统评价果实品质优劣较为鲜见。聚类分析方法已经广泛用于果实品质评价中^[26],本研究基于成熟的评价体系中,为了减少非主要因素的干扰,选择9个种植地油梨果实18个内外品质判别指标进行聚类,通过差异性、相关性、主成分、累计贡献率、因子载荷矩阵、聚类分析,综合筛选了关键的营养指标,实现了简化指标代表整体评价的作用。最终得出欧式距离为15时,将9个种植区的油梨果实分为3类。其中,第三类油梨果实品质相对

最优,第一类次之,第二类再次之。

3.3 油梨果实品质与种植区气象因子的关系及优质种植区划分

气候环境条件是直接制约油梨产业发展成败的关键,水肥一体化管理则是油梨高产、高质的保障。光、热、水作为生态环境的主要因子具有相辅相成的作用,在不同的生态环境区域,即存在相互促进作用,也有相抑制的因子,而品质指标与生态因子的相关性大多局限在一定的范围内,超出一定的阈值,则矛盾就产生。有研究表明,随海拔高度的升高,果实增加着色度,而当海拔达到上限范围时,紫外光增多,富士苹果呈现暗紫色,影响感官品质^[27]。而油梨果树的生长对海拔要求较为严格,当海拔高度超过一定值时,则影响存亡。

另有研究通过采用不同灌溉量来控制生态环境因子,表明在轻度亏缺灌水后,贮藏期间苹果的果实硬度、咀嚼性、呼吸强度、乙烯释放速率优于充分灌水的情况,并且果重和可溶性固形物含量在中轻度亏缺灌水优于重度和中度亏缺灌水^[26]。有研究还表明,土壤环境因子影响果实的品质,如土壤中的碱解氮、有机质、Fe、Zn显著影响果实硬度;土壤中的速效磷、pH、速效钾和有机质极显著影响果形指数;土壤中的速效磷、速效钾、Fe、Zn极显著影响可溶性固形物含量;土壤的碱解氮、速效磷、pH和Cu极显著影响果实总酸含量;土壤中的有机质、Zn、pH、Mn显著影响果实Vc含量;土壤中的碱解氮、有机质、Cu、Zn与糖酸比显著相关^[27]。油梨是水肥敏感植物,根系处于浅表,需水和需肥勤,但又不可过量,管理需要精细化,所谓好果源于好技。

据2021年3月不完全数据统计,目前云南省油梨种植面积居全国首位,为4375.11hm²,投产面积达1073.06hm²。种植面积排名依次为孟连县>耿马县>龙陵县>隆阳区和永德县>景洪市>元谋县>芒市>盈江县、永胜县、瑞丽市,普洱市孟连县种植面积最大多达3333.33hm²。云南油梨产业发展主要以企业种植为主,种植大户为辅,少量散户自行种植,大多处于摸索种植阶段,落果频发是目前制约这个产业发展最大的因素,而不同物候期肥水调控显得极为关键,每个环节肥料配比和供水时间都关乎坐果情况。但是国内针对油梨根系吸收规律和不同物候期水肥需求研究基本处于空白阶段,及时开展相关研究为产业健康发展寻找突破口尤为重要。

本次研究因受疫情的影响只收集到部分市、县、

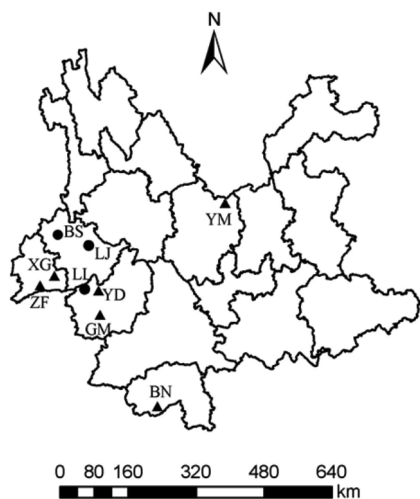


图4 云南适宜油梨生长的生态环境区域示意图

Fig. 4 Ecological environment region suitable for avocado growth in Yunnan

区的样品,通过种植现状和果实品质分析结果综合推测出在云南适宜油梨生长的生态环境区域(图4),保山市隆阳区潞江坝镇和芒宽乡(BS、LJ)以及龙陵县碧寨乡(LI)为油梨最适宜生长的生态环境区域(圆点标记),楚雄州元谋县江边乡(YM),德宏州芒市轩岗镇(XG)和遮放镇(ZF),临沧市耿马县孟定镇(GM)和永德县永康镇(YD),西双版纳州景洪市勐龙镇(BN)为适宜生态区域(三角形标记)。

参考文献:

- [1] 罗立娜, 韩树全, 范建新, 等. 油梨开花物候期及花器官特征观察[J]. 中国南方果树, 2020, **49**(1): 28-31.
LUO L N, HAN S Q, FAN J X, *et al.* Observation on flowering phenology and floral organ characteristics of avocado[J]. *South China Fruits*, 2020, **49**(1): 28-31.
- [2] 董美超, 杨帆, 李进学, 等. 90份鳄梨种质资源 AFLP 遗传多样性分析[J]. 福建农业学报, 2020, **35**(1): 13-19.
DONG M C, YANG F, LI J X, *et al.* AFLP molecular markers-based genetic diversity analysis on 90 avocado germplasm [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, **35**(1): 13-19.
- [3] 罗立娜, 韩树全, 王代谷, 等. 油梨果实品质的差异分析与评价[J]. 中国农业科技导报, 2021, **23**(3): 105-113.
LUO L N, HAN S Q, WANG D G, *et al.* Analysis and evaluation of the differences in fruit quality of avocado[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, **23**(3): 105-113.
- [4] 段鹏伟, 马俊建, 石海强, 等. ‘富士’苹果果实品质与海拔的相关性分析[J]. 中国农学通报, 2021, **37**(22): 49-56.

4 结论

通过对云南省金沙江流域、澜沧江流域、怒江流域、南汀江河谷等流域的8个代表种植生产区的油梨果实进行综合研究分析,经差异性分析得出,不同种植区域油梨外在品质和内在品质之间均存在一定的差异,并且在不同种植区域表现出不同程度的变异,其中种子重量、脂肪变异系数最大,分别达38.09%、37.57%,再次说明,油梨的品质指标在不同的环境气候中存在一定的可塑性,可以合理利用可塑性,探索研究培育适应地方发展的优良品种。

树龄和气候因子影响着油梨果实品质,各指标受综合相关程度的影响大小依次为 $V_c > \text{总黄酮} > \text{果肉重} > \text{脂肪} > \text{果实纵径} > \text{可溶性固形物} > \text{单果重} > \text{果肉密度} > \text{种子长度} > \text{果实横径} > \text{果形指数} > \text{种子直径} > \text{种子重量} > \text{干物质} > \text{种形指数} > \text{可溶性蛋白} > \text{果肉厚度} > \text{可食率}$ 。

综合主成分分析、贡献率、排名等分析发现,保山潞江坝镇的果实品质最优,其次是龙陵县、保山市,芒市轩岗乡品质相对差一些。通过聚类变量分析在油梨果实18个品质变量指标中可以筛选出具有代表性评价的4个核心变量,即脂肪含量、可食率、单果重、可溶性蛋白含量为油梨品质评价的核心指标。本研究结果可为油梨种植者提供理论参考。

- DUAN P W, MA X J, SHI H Q, *et al.* Correlation analysis of fruit quality of ‘Fuji’ apple and altitude[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, **37**(22): 49-56.
- [5] 陈海红. 油梨新品种的区域化表现及栽培技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
- [6] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准: NY/T-1689-2009 热带、亚热带果树种质资源描述规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [7] 于彩云, 王述彬, 刘金兵, 等. 辣椒籽脂肪的快速提取与脂肪酸分析[J]. 食品科学, 2012, **33**(12): 259-263.
YU C Y, WANG S B, LIU J B, *et al.* Fast extraction of fat and fatty acid analysis of hot pepper seeds[J]. *Food Science*, 2012, **33**(12): 259-263.
- [8] 魏永赞, 王一承, 舒波, 等. 12个引进油梨品种果肉品质的评价[J]. 中国南方果树, 2017, **46**(5): 31-34.
WEI Y Z, WANG Y C, SHU B, *et al.* Evaluation of pulp quality of 12 introduced avocado varieties[J]. *South China Fruits*, 2017, **46**(5): 31-34.
- [9] 包冬红. 油梨耐贮性比较研究及1-MCP和柑浓素对油梨保鲜效果的影响[D]. 海口: 海南大学, 2017.

- [10] 翁霞, 辛广, 李云霞. 蒽酮比色法测定马铃薯淀粉总糖的条件研究[J]. 食品研究与开发, 2013, **34**(17): 86-88.
WENG X, XIN G, LI Y X. Study on determination conditions of total sugar from potato starch by anthrone colorimetry[J]. *Food Research and Development*, 2013, **34**(17): 86-88.
- [11] 曲春香, 沈颂东, 王雪峰, 等. 用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J]. 苏州大学学报(自然科学版), 2006, **22**(2): 82-85.
QU C X, SHEN S D, WANG X F, *et al.* Method research of measuring soluble protein contents of plant rough extraction using Coomassie Brilliant Blue[J]. *Journal of Suzhou University (Natural Science Edition)*, 2006, **22**(2): 82-85.
- [12] 周孟焦, 何鑫柱, 陈凯, 等. 竹叶花椒中总黄酮提取及富集试验研究[J]. 食品研究与开发, 2021, **42**(21): 69-73.
ZHOU M J, HE X Z, CHEN K, *et al.* Investigation on extraction and enrichment of flavonoids from *Zanthoxylum armatum* DC[J]. *Food Research and Development*, 2021, **42**(21): 69-73.
- [13] 李芳红, 张晓煜, 冯蕊, 等. 陕甘宁地区红富士苹果品质评价[J]. 北方园艺, 2021, (19): 29-36.
LI F H, ZHANG X Y, FENG R, *et al.* Quality evaluation of red fuji apples in Shaanxi-Gansu-Ningxia area[J]. *Northern Horticulture*, 2021, (19): 29-36.
- [14] 贺鹏, 张涛, 宋海云, 等. 广西澳洲坚果果实品质分析与综合评价[J]. 食品科学, 2021, **42**(24): 242-251.
HE P, ZHANG T, SONG H Y, *et al.* Quality analysis and comprehensive evaluation of the fruit of *Macadamia integrifolia* grown in Guangxi Province[J]. *Food Science*, 2021, **42**(24): 242-251.
- [15] 袁建民, 杨晓琼, 许智萍, 等. 云南干热河谷区余甘子果实氨基酸组成及营养价值评价[J]. 江西农业学报, 2021, **33**(10): 29-37.
YUAN J M, YANG X Q, XU Z P, *et al.* Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Phyllanthus emblica* fruit in Yunnan dry-hot valley[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2021, **33**(10): 29-37.
- [16] 黄雪梅, 黄烈健, 王莹, 等. 油梨品种桂星3号和哈斯后熟生理和营养品质比较[J]. 华南农业大学学报, 2015, **36**(3): 59-64.
HUANG X M, HUANG L J, WANG Y, *et al.* A comparative study of postharvest physiology and nutrient components between Guiken 3 and Hass avocado fruits[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2015, **36**(3): 59-64.
- [17] 李德友, 张少峰, 冯春莹, 等. 套袋对油梨果实生长发育及品质动态变化的影响[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(1): 102-111.
LI D Y, ZHANG S F, FENG C Y, *et al.* Effect of bagging on growth and dynamic change in quality of avocado fruits[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(1): 102-111.
- [18] GE Y, SI X Y, CAO J Q, *et al.* Morphological characteristics, nutritional quality, and bioactive constituents in fruits of two avocado (*Persea americana*) varieties from Hainan Province, China[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2017, **9**(2): 8.
- [19] 田丹丹, 李艳, 梅晓宏. 牛油果中植物甾醇的鉴定及抗氧化、抑菌活性[J]. 食品科学, 2019, **40**(3): 30-35.
TIAN D D, LI Y, MEI X H. Identification, antioxidant and antibacterial activity of phytosterols in avocado[J]. *Food Science*, 2019, **40**(3): 30-35.
- [20] SHARMA A, MAHAJAN H, DWIVEDI J P, *et al.* Optimization of nutritionally enriched mango bar using response surface methodology[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2015, **9**(2): 152-159.
- [21] 玉玄波. 提高牛油果育苗质量的措施探究[J]. 南方农业, 2017, **11**(33): 5-6.
YU X B. Measures to improve the quality of avocado seedlings[J]. *South China Agriculture*, 2017, **11**(33): 5-6.
- [22] 汪汇源. 哥伦比亚开始向中国出口哈斯油梨[J]. 世界热带农业信息, 2019, (12): 29-30.
WANG H Y. Colombia began to export Haas avocado to China[J]. *World Tropical Agriculture Information*, 2019, (12): 29-30.
- [23] WANG J S, WANG A B, ZANG X P, *et al.* Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea americana* Mill.) oil processing by-products[J]. *Food Chemistry*, 2019, **288**: 146-153.
- [24] 谭秋锦, 王文林, 韦媛荣, 等. 澳洲坚果种质果实产量相关性状的多样性分析[J]. 果树学报, 2019, **36**(12): 1 630-1 637.
TAN Q J, WANG W L, WEI Y R, *et al.* Diversity analysis of fruit traits related to yield in *Macadamia* germplasm[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, **36**(12): 1 630-1 637.
- [25] 郭碧云. 陕西生态因子与苹果品质相关性研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2006.
- [26] 黄天辉. 生态环境因子对山地苹果抗 CO₂ 伤害特性的研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2021.
- [27] 柴媛媛. 渭北旱塬水土环境状况与苹果品质的关系研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2009.

(编辑:裴阿卫)