

不同板栗品种营养成分及风味物质分析

张乐, 王赵改*, 杨慧, 王晓敏, 史冠莹
(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南 郑州 450008)

摘要: 对6种板栗的基础营养成分、风味物质进行测定, 并对质地进行分析。6种板栗的营养成分呈现品种和地区差异性, 河南大板栗的淀粉、总酸含量较高, 而在蛋白质、脂肪、还原糖、VC含量方面河北品种含量较高, 各品种的脂肪与还原糖、VC含量呈显著正相关, VC与蛋白、还原糖呈显著正相关, 淀粉与VC含量呈显著负相关。各品种板栗氨基酸种类齐全, 含量较高的为谷氨酸和天冬氨酸, 第1、第2限制氨基酸为半胱氨酸和甲硫氨酸, 大板红总氨基酸含量最高达32.72 g/kg。检测出46种香气成分, 香气物质种类最高的为大板栗(25种), 其次为早丰和遵玉(均17种), 大板红、塔丰及红油栗(16种), 相对含量高的成分均为醛类达50%以上。板栗各质地参数间的相关性表明, 硬度与咀嚼性、胶黏性呈显著正相关, 内聚性与胶黏性、咀嚼性呈极显著正相关, 弹性与胶黏性、咀嚼性呈一定的负相关, 大板红及大板栗在果仁的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性大于其他几个品种。综合分析认为大板红品质比较优良, 由于各地气候条件也有差异, 应根据不同地理条件、产品用途等选择合适的品种进行种植及产品加工。

关键词: 中国板栗; 营养成分; 风味; 相关性

Nutritional Components and Flavor Substances of Different Varieties of Chinese Chestnut

ZHANG Le, WANG Zhaogai*, YANG Hui, WANG Xiaomin, SHI Guanying
(Agricultural Products Processing Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: The basic nutrients, aroma components and textural properties of fruits of 6 Chinese chestnut varieties, 'Tafeng', 'Zunyu', 'Zaofeng' and 'Dabanhong' grown in Hebei province; 'Hongyouli' and 'Dabanli' from Henan province, were studied. The results showed that the nutritional components of Chinese chestnuts were significantly related to the variety and geographic origin. 'Dabanli' had higher contents of starch and total acid than other varieties, while the varieties from Hebei province had higher contents of protein, fat, reducing sugar and VC. Correlation analysis showed that fat content was positively correlated with reducing sugar and VC contents and that VC content was positively correlated with protein and reducing sugar contents but it was significantly negatively correlated with starch content, irrespective of variety. All the six varieties of chestnuts contained a variety of amino acids with glutamic acid and asparagic acid being dominant. The first and the second limiting amino acids were cysteine and methionine, respectively. The total amino acid content of 'Dabanhong' was highest, (32.72 g/kg). A total of 46 aroma components were identified, among which 25 were identified in 'Dabanli', followed by 'Zaofeng' (17) and 'Zunyu' (17); and 'Dabanhong', 'Tafeng' and 'Hongyouli' (16). The most abundant aroma compounds were aldehydes, was accounting for more than 50% of the total amount. The correlation analyses showed that there was a positive correlation between hardness and either chewiness or gumminess, and between cohesiveness and either gumminess or chewiness, while springiness was negatively correlated with either gumminess or chewiness. 'Dabanhong' and 'Dabanli' were higher than the other varieties in hardness, springiness, adhesiveness and chewiness. All the above results suggested that the quality of 'Dabanhong' was better. Due to the differences in climate conditions, the suitable varieties for cultivation and product processing should be chosen according to local geographic conditions and product uses.

Key words: Chinese chestnut; nutritional ingredients; aroma components; correlation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610028

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)10-0164-06

收稿日期: 2015-09-24

基金项目: 2015年河南省财政预算项目(20157814); 2015年河南省重点科技攻关项目(152102210386)

作者简介: 张乐(1987—), 女, 研究实习员, 硕士, 主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: zhangle825@163.com

*通信作者: 王赵改(1980—), 女, 副研究员, 博士, 主要从事农产品保鲜与加工研究。E-mail: zgwang1999@126.com

引文格式:

张乐, 王赵改, 杨慧, 等. 不同板栗品种营养成分及风味物质分析[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 164-169. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610028. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Le, WANG Zhaogai, YANG Hui, et al. Nutritional components and flavor substances of different varieties of Chinese chestnut[J]. Food Science, 2016, 37(10): 164-169. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201610028. <http://www.spkx.net.cn>

板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 也称为栗子、中国板栗, 是壳斗科、栗属、坚果类植物, 在中国已有3 000余年栽培历史。板栗淀粉含量高达到70%左右, 与粮谷类相当, 还含有蛋白质、脂肪、B族维生素等多种营养素, 素有“铁杆庄稼”、“干果之王”的美称^[1-4]。板栗还具有一定的药用价值, 可作为药材入药, 其味甘、性温, 可健脾补肾、活血化瘀、止血止痛、消除湿热^[5]。现代医学认为, 板栗是一种补养治病的良药, 对高血压、冠心病和动脉硬化等疾病, 有较好的预防和治疗作用^[6-7]。

我国是世界上最大的板栗生产国, 在20多个省均有栽培, 其中山东、河南、湖北、河北、安徽、浙江、广西等是中国板栗著名的产区, 栽培面积111万 hm^2 , 年产量100万 t, 占全球产量70%^[8-9]。板栗品种繁多, 我国板栗多以生栗原料销售为主, 加工量少, 加工转化率仅为20%~30%, 初加工以糖炒栗子为主, 深加工产品以板栗罐头为主^[10-11]。板栗谷物饮料、休闲食品具有很大的市场潜力, 并且发展板栗产业既有利于开发山区资源, 发挥山区优势, 增加山区人民的经济收入, 对山区人民脱贫有着重要的意义。目前关于板栗不同品种间性状方面学者们也进行了一些研究, 马玉敏等^[12]对引进的燕红、燕奎、燕山短枝等6个品种的生物学特性、生长发育规律作了观察测定; 续九如等^[13]对河北遵化魏进河林场板栗良繁中心的26个板栗品种果实的单果重及营养成分进行评定, 选出5个相对优良的品种; 冯建灿等^[14]对河南板栗果实性状多样性进行了研究。然而目前尚缺少对不同板栗品种的风味成分及营养成分的系统对比研究。为了更好的利用板栗资源, 充分发挥各产地的自然资源优势, 本实验分别对来自河北、河南两省6种板栗的基础营养成分风味成分进行分析测定, 旨在了解各品种的营养品质, 为板栗的有效开发和综合加工利用提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

板栗样品选取河北、河南省共6个品种, 其中河北省4个品种: 塔丰、遵玉、早丰、大板红, 由河北美客多食品有限公司提供; 河南省2个品种: 红油栗、大板栗, 由信阳多栗多绿色食品有限公司提供。

氢氧化钠、盐酸、硫酸钾、浓硫酸、硝酸、苯酚、石油醚、葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸 国药集团化学试

剂有限公司; 蒽酮 天津市科密欧化学试剂有限公司; 焦性没食子酸 天津市光复精细化工研究所。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

GL-20G-II 高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器有限公司; GENESYS 10S UV-VIS紫外-可见分光光度计 美国Thermo公司; SOX500脂肪测定仪、SH200N石墨消解仪、K1100全自动凯氏定氮仪 济南海能仪器股份有限公司; L-8900氨基酸自动分析仪 日本Hitachi公司; 7890AGC-5975CMS型气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用仪 美国Agilent公司; TMS-PRO食品物性分析仪 美国FTC公司。

1.3 方法

1.3.1 基本成分含量的测定

水分含量测定采用常压烘箱干燥法, 参照GB/T 5009.3—2003《食品中水分的测定》进行; 脂肪含量测定采用索氏抽提法, 参照GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》进行; 蛋白质含量测定采用凯氏定氮法, 参照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》进行; 还原糖含量的测定采用3,5-二硝基水杨酸法, 参照齐香君^[15]的方法; 总酸含量测定采用酸碱滴定法, 参照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》方法进行测定; VC含量测定采用2,6-二氯酚酚滴定法^[16]; 单宁含量测定采用分光光度法, 参照NY/T 1600—2008《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定: 分光光度法》进行测定; 淀粉含量测定采用蒽酮比色法, 参照郭冬生等^[17]的方法进行。

标准曲线绘制: 在洁净的试管, 分别加入淀粉含量为0.0、10.0、20.0、40.0、60.0、80.0 μg 的淀粉标准液, 每一个标准液2个重复, 加水调整各试管溶液均为2.00 mL, 在冰水中冷却2 mL, 加入6.00 mL蒽酮-硫酸溶液, 摇匀, 在冰水中冷却2 min。将试管放入沸水中5 min, 各试管显色呈蓝绿色, 取出试管, 冷却至室温。用2.00 mL蒸馏水按照上述操作作为空白参比, 于波长640 nm处比色, 测定各试管溶液的吸光度。以吸光度为横坐标, 淀粉质量浓度作为纵坐标, 得到曲线方程为 $y=0.0026x+0.0989$, $R^2=0.9908$ 。

样液制备及测定: 分别称取0.5 g板栗粉样品于50 mL离心管中, 其中包括2个重复, 加入体积分数80%乙醇溶液2滴使样品湿润, 再加入5 mL水摇匀, 加入25 mL

热的体积分数80%乙醇溶液, 摇匀后放置5 min, 以5 000 r/min离心10 min, 倾出上清液。再用30 mL体积分数80%乙醇溶液提取1次。于上述残留物中加入5 mL水和30 mL质量分数52%高氯酸溶液, 搅拌10 min, 以5 000 r/min离心10 min, 将上清液转入100 mL容量瓶中, 残留物再用35 mL质量分数52%高氯酸溶液提取, 合并提取液, 以水定容。过滤, 弃去最初5 mL滤液。吸取10.00 mL滤液于250 mL容量瓶中, 加水定容。取上述淀粉提取液2.00 mL, 测定沸水浴显色后溶液的吸光度, 计算淀粉含量。

1.3.2 氨基酸组成分析

采用氨基酸自动分析仪, 参照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》进行测定。准确称取适量样品置安培瓶内, 用10 mL浓度为6 mol/L的盐酸水解24 h, 将水解液冷却、过滤、定容。取1 mL水解液于螺口瓶中, 氮吹, 加入5 mL, 0.02 mol/L盐酸溶液混匀, 取出1 mL溶液滤膜过滤收集于小瓶中, 利用氨基酸自动分析仪进行测定。

1.3.3 板栗风味物质分析

顶空-固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)条件: 准确称取2.5 g样品于20 mL顶空瓶中, 旋紧瓶盖, 平衡15 min, 将SPME装置插入顶空瓶, 在50 °C水浴中保温萃取30 min, 随后将萃取头取出, 直接供GC-MS分析^[18]。

GC条件: HP-5MS毛细管柱色谱柱(30 m×0.25 mm i.d., 0.25 μm); 载气为氦气; 流速1.0 mL/min; 柱温采用程序升温: 初温40 °C, 保持3 min后以3 °C/min升至80 °C, 再以9 °C/min升至220 °C, 保持10 min; 进样口温度230 °C; 不分流进样1 min。

MS条件: 电子电离源; 电子能量70 eV; 离子源温度230 °C; 质谱扫描范围35~500 u; 质谱分析用数据库为NIST 2.0库。

1.3.4 板栗质地分析

将板栗去壳去红衣后, 放置于质构仪的载物台上进行质地多面分析(texture profile analysis, TPA)挤压测试(每次测试时, 板栗果实的放置位置、方向相同), 每组重复测试10次。参照田海龙等^[19]方法并略做修改, 测试参数设置如下: 下压过程中测量力; 测试前速率60 mm/min; 测试速率60 mm/min; 测试后速率60 mm/min; 测试深度(形变量)30%; 触发力2.5 N; 力量感应元量程2 500 N; 探头: P/50圆盘挤压探头。

通过TPA软件计算, 从测得的质地特征曲线上得到的TPA参数有: 硬度、内聚性、弹性、咀嚼性和回复性等。

1.4 数据处理

采用SPSS软件Tukey法多重比较进行极差检验

($P<0.05$)数据统计分析和品质性状间相关性统计分析。描述性统计值使用 $\bar{x}\pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 板栗基本营养成分分析

表1 不同板栗品种水分及基本营养成分含量

品种	水分含量/%	淀粉含量/%	脂肪含量/%	蛋白质含量/%	还原糖含量/%	总酸含量/(mg/g)	VC含量/(mg/100 g)	单宁含量/(mg/g)
塔丰	51.88±0.02 ^{bc}	23.03±0.10 ^d	0.27±0.003 ^d	4.25±0.03 ^c	2.84±0.06 ^b	12.32±0.59 ^b	19.70±0.12 ^b	0.94±0.001 ^d
遵玉	50.44±0.26 ^{cd}	23.58±0.10 ^f	0.29±0.003 ^e	3.69±0.03 ^c	3.93±0.05 ^c	9.36±0.00 ^d	19.34±0.08 ^{bc}	0.92±0.001 ^f
早丰	49.02±0.84 ^d	22.89±0.03 ^d	0.47±0.002 ^b	3.28±0.01 ^d	2.95±0.04 ^d	10.92±0.68 ^{bc}	20.23±0.16 ^c	0.96±0.001 ^b
大板红	52.82±0.81 ^b	24.09±0.03 ^b	0.26±0.00 ^d	3.79±0.02 ^b	2.53±0.09 ^d	10.06±0.47 ^{cd}	18.99±0.12 ^{cd}	0.99±0.001 ^a
红油栗	50.06±0.12 ^{cd}	23.21±0.10 ^d	0.30±0.003 ^d	3.01±0.04 ^f	1.46±0.04 ^e	9.13±0.41 ^d	18.74±0.08 ^{bc}	0.95±0.001 ^e
大板栗	55.13±0.21 ^a	24.58±0.14 ^a	0.27±0.00 ^d	3.03±0.02 ^f	2.31±0.11 ^d	13.26±0.68 ^a	18.43±0.12 ^c	0.92±0.001 ^e

注: 不同肩标小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表5同。

将6个不同品种板栗果仁进行水分、淀粉、脂肪、蛋白质、还原糖、总酸、VC含量及单宁含量测定, 如表1所示。水分含量对板栗的贮藏性有很大的影响, 大板栗水分含量高, 与其他5种有显著差异($P<0.05$), 来自河北的大板红水分含量与其他3种河北品种差异显著。淀粉作为板栗的主成分, 其含量占干基的45%~70%, 是决定板栗食用品质的主要因素。本实验中6种板栗淀粉含量在22.89%~24.58%, 其中大板栗含量最高为24.58%, 且与其他5种有差异, 河北品种的大板红与其他3个品种差异显著。6种脂肪含量在0.2%~0.5%, 来自河北的早丰脂肪含量最高为0.47%与其他5种有显著差异($P<0.05$), 河南的2个品种之间差异不显著。在蛋白质含量方面, 来自河北的板栗均高于河南板栗品种, 河北的塔丰、大板红蛋白质含量分别排在第1、第2。蛋白质是糖类与脂肪都不能替代的人体惟一氮源, 蛋白质含量的多少将直接影响到板栗的吸水性、乳化性等。在还原糖含量方面, 来自河北的板栗品种也均高于河南品种。在总酸方面河南的大板栗含量最高除与河北的塔丰没差异外, 与其他各品种均有显著差异($P<0.05$)。在VC方面, 含量最高的为河北早丰与其他5个品种均有差异($P<0.05$), 总的来说河北板栗品种VC含量高于河南品种。在单宁方面, 含量最高的为河北的大板红, 其次为早丰, 大板栗和遵玉含量最低。总体来说, 河南的大板栗在淀粉、总酸含量较高, 而在蛋白质、脂肪、还原糖、VC、单宁方面河北品种含量较高, 这可能与两地的气候条件差异性有关。

对板栗营养成分间的相关性分析, 可以了解它们之间的内在联系, 可以为加工板栗制品中筛选优良品种提供依据。由表2可以看出, 对于各成分含量, 水分与淀粉之间呈极显著正相关($r=0.8706^{**}$), 水分与脂肪及VC

呈显著负相关，水分与还原糖、单宁呈一定的负相关。淀粉与VC含量呈显著负相关 ($r=-0.775\ 9^*$)，说明淀粉含量高的板栗脂肪含量低。脂肪与还原糖含量及VC含量呈显著正相关 ($r=0.793\ 2^*$ 和 $r=0.713\ 5^*$)，说明脂肪、还原糖、VC含量变化趋势一致，可以共同描述板栗营养成分的变化规律。VC与蛋白及还原糖含量呈显著正相关，说明VC含量高的板栗蛋白质及还原糖含量也高。

表2 板栗营养成分含量相关系数

Table 2 Correlation coefficients of nutrient components of chestnut

项目	水分	淀粉	脂肪	蛋白	还原糖	总酸	VC	单宁
水分	1							
淀粉	0.870 6**	1						
脂肪	-0.663 9	-0.565 5	1					
蛋白	-0.000 9	-0.253 5	-0.303 4	1				
还原糖	-0.190 7	-0.102 3	0.793 2*	0.518 7*	1			
总酸	0.662 7	0.326 3	-0.086 6	0.071 9	-0.040	1		
VC	-0.677 1	-0.775 9*	0.713 5*	0.438 6*	0.529 0*	-0.051 3	1	
单宁	-0.151 4	-0.110 8	0.218 6	0.082 4	-0.365	-0.279 4	0.160 8	1

注：*，显著相关 ($P<0.05$)；**，极显著相关 ($P<0.01$)；表6同。

2.2 板栗氨基酸成分分析

表3 不同板栗品种氨基酸含量

Table 3 Contents of amino acids in different varieties of chestnut

氨基酸	品种					
	塔丰	遵玉	早丰	大板红	红油栗	大板栗
天冬氨酸Asp	4.64	4.20	3.66	5.04	4.14	4.31
苏氨酸Thr*	1.20	1.28	1.08	1.24	1.18	0.98
丝氨酸Ser	1.16	1.24	1.08	1.22	1.13	0.98
谷氨酸Glu	4.97	5.10	3.96	4.74	4.31	3.81
甘氨酸Gly	1.68	1.70	1.49	1.60	1.56	1.32
丙氨酸Ala	2.06	1.79	1.81	2.07	1.92	1.62
半胱氨酸Cys	0.14	0.18	0.12	0.14	0.09	0.08
缬氨酸Val*	1.77	1.73	1.58	1.82	1.69	1.48
甲硫氨酸Met*	0.24	0.30	0.23	0.24	0.24	0.22
异亮氨酸Ile*	1.29	1.29	1.12	1.30	1.24	1.08
亮氨酸Leu*	2.16	2.05	1.80	2.08	2.04	1.74
酪氨酸Tyr	0.48	0.65	0.50	0.58	0.52	0.48
苯丙氨酸Phe*	1.63	1.58	1.44	1.67	1.42	1.32
赖氨酸Lys*	2.18	2.37	2.02	2.15	2.06	1.78
组氨酸His	1.00	1.14	0.95	1.05	0.89	0.86
精氨酸Arg	3.00	2.88	2.39	3.98	2.18	2.20
脯氨酸Pro	1.77	2.00	1.81	1.80	1.82	1.35
总氨基酸	31.37	31.48	27.04	32.72	28.43	25.61

注：*，必需氨基酸。

氨基酸构成生物体内的蛋白质，同生命活动密切相关，是生物体内不可缺少的营养成分，同时也是人体必需的营养成分，氨基酸种类要全面，才能满足机体生长发育和健康的需要。采用氨基酸自动分析仪分析了不同产地不同品种的氨基酸种类和含量。如表3所示，共检出17种氨基酸（色氨酸未检出），种类丰富。其中大板红、大板栗含量最高的天冬氨酸，塔丰、遵玉、早丰、红油栗等含量最高的均为谷氨酸。整体来说含量最高的是谷氨酸和天

冬氨酸，第1限制性氨基酸是半胱氨酸，第2限制性氨基酸是甲硫氨酸。河北品种大板红总氨基酸含量最高达32.72 g/kg，这与其蛋白质含量较高相吻合。

2.3 风味成分分析

采用HS-SPME-GC-MS联用技术，对6个板栗品种果仁香气成分进行分析，同时与NIST 2.0质谱库相匹配，得出各化合物名称及相对含量，见表4。在6种样品中，共检测出46种物质，包括醛类11种、酯类7种、醇类3种、酮类1种、烯类4种、烃类16种、其他4种。香气成分最高的为河南的大板栗（25种），其次为河北的早丰和遵玉（均17种），大板红、塔丰及河南红油栗（16种）。香气成分相对含量最高的除河北遵玉（磷酸三丁酯）为酯类，其他5种均为醛类，河北大板红、早丰品种相对含量最高为苯甲醛，塔丰为壬醛，河南大板栗为2-壬烯醛，红油栗为苯乙醛。

表4 不同板栗品种的香气成分及其相对含量

Table 4 Aroma components and their relative contents in different varieties of chestnut

序号	化合物名称	分子式	相对含量/%					
			遵玉	大板红	塔丰	早丰	红油栗	大板栗
1	(1,1-二甲基乙基)-3-乙基环氧乙烷 oxirane, 2-(1,1-dimethylethyl)-3-ethyl-, cis-2-	C ₆ H ₁₀ O	-	-	-	-	0.508	-
2	苯甲醛 benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	5.377	34.667	-	29.306	18.979	9.552
3	2戊己基呋喃 furan, 2-pentyl-	C ₉ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	6.061
4	1-甲氧-5-乙基环戊烯 5-ethylcyclopent-1-enecarboxaldehyde	C ₉ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	2.137
5	苯乙醛 benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	-	5.501	-	13.564	29.721	7.311
6	反-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	C ₈ H ₁₄ O	-	-	-	-	-	5.095
7	二甲基二氢呋喃酮 2-furanone, 2,5-dihydro-3,5-dimethyl	C ₆ H ₁₀ O ₂	-	-	8.426	10.200	-	-
8	壬醛 nonanal	C ₉ H ₁₈ O	7.536	10.455	18.007	8.514	9.290	2.579
9	苯乙醇 phenylethyl alcohol	C ₈ H ₁₀ O	-	-	-	-	17.603	-
10	四甲苯 benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	C ₁₀ H ₁₄	1.685	-	-	-	-	-
11	1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯 benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	C ₁₀ H ₁₄	-	-	-	-	-	0.699
12	(E,Z)-2,6-壬二烯醛 2,6-nonadienal, (E,Z)-	C ₉ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	3.152
13	(Z)-2-壬烯醛 2-nonenal	C ₉ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	36.871
14	萘 naphthalene	C ₁₀ H ₈	5.226	6.071	7.596	-	4.408	-
15	甘菊蓝 azulene	C ₁₀ H ₈	-	-	-	5.396	-	2.067
16	癸醛 decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	-	1.543	3.051	1.377	1.448	0.482
17	2,4-壬二烯醛 2,4-nonadienal	C ₉ H ₁₆ O	-	-	-	-	-	0.635
18	苯乙酸乙酯 benzeneacetic acid, ethyl ester	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	2.207	1.995	-	1.205	-	-
19	五甲苯 benzene, pentamethyl-	C ₁₁ H ₁₆	-	-	-	2.257	-	-
20	甲基萘 naphthalene, 1-methyl-1	C ₁₁ H ₁₀	5.489	-	8.720	7.379	3.299	-
21	2-甲基癸烷 decane, 2-methyl-	C ₁₁ H ₂₄	-	-	3.167	-	-	-
22	2-甲基萘 naphthalene, 2-methyl-	C ₁₁ H ₁₀	4.215	9.138	6.327	-	1.844	1.741
23	双环[4.4.1]-十一-1,3,5,7,9-五烯 bicyclo[4.4.1]undeca-1,3,5,7,9-pentaene	C ₁₁ H ₁₆	-	-	-	-	-	1.041
24	2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal	C ₁₀ H ₁₈ O	-	-	-	-	-	1.185
25	丁香酚 eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	-	-	-	-	-	2.920
26	十四烷 tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	3.342	3.800	6.424	3.406	3.266	1.090
27	长叶烯 1,4-methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1π3σ7π8σ7)-	C ₁₅ H ₂₄	-	3.737	-	-	-	1.090
28	[3R-(3π3σ7π8σ7)-烯 1H-3a,7-methanoazulene, 2,3,4,7,8,8a-hexahydro-3,6,8,8-tetramethyl-,	C ₁₅ H ₂₄	3.473	-	9.601	-	-	-

续表4

序号	化合物名称	分子式	相对含量/%						
			遵玉	大板红	塔丰	早丰	红油栗	大板栗	
29	柏木脑烯 di-epi- <i>rac</i> -cedrene-	C ₁₅ H ₂₄	—	4.769	—	2.927	2.838	1.082	—
30	<i>B</i> -柏木烯 1 <i>H</i> -3 <i>a</i> ,7-methanoazulene, octahydro-3,8,8-trimethyl-6-methylene-, [3 <i>R</i> -(3 <i>α</i> ,7 <i>α</i> ,7 <i>β</i>)]	C ₁₅ H ₂₄	2.540	3.588	5.343	1.285	1.167	0.729	—
31	四甲基十七烷 heptadecane, 2,6,10,15-tetramethyl-	C ₂₁ H ₄₄	1.654	1.764	—	1.550	—	—	—
32	丁基羟基甲 butylated hydroxytoluene	C ₁₀ H ₁₄ O	—	1.896	4.174	1.654	1.054	—	—
33	磷酸三丁酯 tributyl phosphate	C ₁₂ H ₂₇ O ₄ P	39.234	—	—	7.868	—	10.195	—
34	三甲基十四烷 tetradecane, 2,6,10-trimethyl-	C ₁₇ H ₃₆	—	2.285	—	1.051	1.700	0.356	—
35	甲氧基乙酸十三酯 methoxyacetic acid, 3-tridecyl ester	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	—	—	—	—	0.885	—	—
36	甲基二十烷 eicosane, 10-methyl-	C ₂₁ H ₄₄	—	—	2.469	—	—	—	—
37	十六烷 hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	1.462	—	—	—	—	—	—
38	丙氧基柏木烯 cedrane, 8-propoxy-	C ₁₆ H ₂₆ O	2.006	2.961	—	—	—	—	—
39	雪松醇 cedrol	C ₁₈ H ₃₀ O	—	—	7.100	1.060	—	0.895	—
40	八氢化- α , α -3,8-四甲基奥-5-甲醇 5-azulenemethanol, 1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro- α -3,8-tetramethyl-	C ₁₈ H ₂₆ O	7.531	—	—	—	—	—	—
41	甲氧基乙酸十三酯 methoxyacetic acid, 2-tridecyl ester	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	—	—	3.164	—	—	—	—
42	2,6,10,14-四甲基十七烷 heptadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	C ₂₁ H ₄₄	—	—	3.053	—	—	—	—
43	十六醛 hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	0.293	—	—	—	—	0.293	—
44	邻苯二甲酸异丁基-2-戊酯 phthalic acid, isobutyl 2-pentyl ester	C ₁₇ H ₂₄ O ₄	2.610	—	—	—	—	—	—
45	邻苯二甲酸二丁酯 dibutyl phthalate	C ₁₈ H ₂₆ O ₄	—	—	—	—	—	0.741	—
46	棕榈酸乙酯 hexadecanoic acid, ethyl ester	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	4.411	5.831	3.376	—	1.991	—	—

注：—.未检出。

对表4进行统计分析得出图1，不同品种板栗的香气成分各类物质的含量。由图1A可以看出，大板红、早丰、红油栗、大板栗相对含量高的均为醛类，所占比例分别为52.17%、52.76%、59.44%、69.29%，遵玉香气成分相对含量最高的为酯类占48.46%，塔丰为烃类最高占37.76%，其次为醛类21.06%。由图1B可知，各品种风味物质个数除大板栗含醛类最高，其他5种均含烃类物质种类较多。

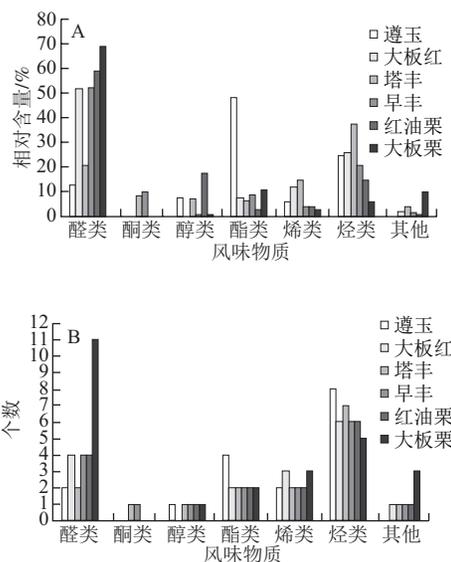


图1 不同品种板栗各类风味物质相对含量(A)和个数(B)

Fig. 1 Relative contents and numbers of flavor substances of different varieties of Chinese chestnut

2.4 板栗质地分析

2.4.1 不同板栗品种间果肉TPA质地参数

表5 不同板栗品种各项质地参数的比较

Table 5 Comparison of textural parameters of different Chinese chestnut varieties

质地参数	硬度/N	内聚性	弹性	胶黏性/N	咀嚼性/N
塔丰	378.41±6.39 ^{cd}	0.31±0.023 ^a	2.66±0.31 ^c	114.79±8.87 ^a	303.28±2.92 ^a
遵玉	397.97±9.69 ^c	0.21±0.015 ^c	3.24±0.10 ^{bc}	85.63±7.96 ^c	274.93±1.91 ^{cd}
早丰	370.68±6.90 ^d	0.26±0.01 ^b	2.29±0.11 ^d	107.19±8.28 ^{ab}	254.48±1.77 ^d
大板红	450.07±17.04 ^a	0.26±0.009 ^b	3.50±0.15 ^b	119.77±4.01 ^a	404.93±1.57 ^{ab}
红油栗	424.83±3.13 ^b	0.24±0.024 ^{bc}	3.39±0.26 ^b	103.60±7.26 ^b	368.98±3.57 ^b
大板栗	401.10±1.54 ^c	0.26±0.014 ^b	4.23±0.15 ^a	102.13±9.37 ^b	429.17±12.35 ^a

通过TPA测试可以实现对不同品种的板栗仁质地具体的量化，不同品种的质地参数如表5所示。硬度反映的是果实在外力作用下发生形变所需要的屈服力大小，在所测的几个品种中果仁硬度最大的为大板红达450.07 N，从大到小依次排列为大板红>红油栗>大板栗>遵玉>塔丰>早丰。内聚性反映的是咀嚼果实时，果实抵抗牙齿咀嚼破坏而表现出的内部结合力，反映了果实组织细胞间结合力的大小，使果实保持完整的性质，果肉内聚性最大的为塔丰品种且与其他品种有差异(P<0.05)。弹性反映的是果实经压缩变形后，在去除变形力的条件下所能恢复的程度，从大到小依次为大板栗>大板红>红油栗>遵玉>塔丰>早丰；胶黏性从大到小依次为大板红>塔丰>早丰>红油栗>大板栗>遵玉。咀嚼性模拟的是牙齿将固体样品咀嚼成吞咽稳定状态时所需要的能量，能综合反映果实在牙齿咀嚼过程中对外力的持续抵抗作用^[20-21]，不同品种板栗果仁咀嚼性从大到小依次为大板栗>大板红>红油栗>塔丰>遵玉>早丰。综上所述说明大板红及大板栗在果仁的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性大于其他几个品种。

2.4.2 板栗果仁各项质地参数间的相关性分析

表6 不同品种TPA质地参数的相关性

Table 6 Correlations among textural parameters of different Chinese chestnut varieties

质地参数	硬度	内聚性	弹性	胶黏性	咀嚼性
硬度	1				
内聚性	0.442 8	1			
弹性	-0.544 3	-0.352 4	1		
胶黏性	0.741 7*	0.927 8**	-0.520 7	1	
咀嚼性	0.702 5*	0.934 7**	-0.350 5	0.981 6**	1

如表6所示，硬度与咀嚼性、胶黏性呈显著正相关(r=0.702 5、r=0.741 7)，说明不同板栗品种硬度大的，咀嚼性越大，感官上人咀嚼破碎果肉需要能量越大。硬度与内聚性呈不显著相关，硬度与弹性呈一定的负相关。内聚性与胶黏性、咀嚼性呈极显著正相关(r=0.927 8、r=0.934 7)，说明不同板栗品种内聚性越

大, 人牙齿所感觉出来的果肉致密度和嚼劲越大, 牙齿需要咀嚼果肉成吞咽状态的能量越大, 口感也越好。咀嚼性与胶黏性呈极显著正相关 ($r=0.9816$), 说明咀嚼性越大胶黏性也越大。弹性与胶黏性及咀嚼性呈一定的负相关^[22]。

3 结论

对不同产地6种板栗的营养成分进行分析, 其营养成分呈现品种差异性和产地差异性。与续九如等^[13]的板栗的不同品种间单果重差异显著研究结果一致。河南大板栗的淀粉、总酸含量较高, 而在蛋白质、脂肪、还原糖、VC方面河北品种含量较高。相关性统计分析发现, 脂肪与还原糖、VC含量呈显著正相关, VC与蛋白、还原糖含量呈显著正相关, 淀粉与VC含量呈显著负相关。各品种板栗氨基酸种类齐全、含量丰富, 含量较高的为谷氨酸和天冬氨酸, 第1、第2限制氨基酸为半胱氨酸和甲硫氨酸, 其中大板红板栗品种总氨基酸含量最高达32.72 g/kg。6种板栗品种共检测出46种香气物质包括醛类11种、酯类7种、醇类3种、酮类1种、烯类4种、炔类16种、其他4种, 与梁建兰^[23]及Sabine^[18]等的研究结果一致。香气物质种类最高的为大板栗(25种), 其次为早丰和遵玉(均17种), 大板红、塔丰及红油栗(16种), 相对含量高的成分均为醛类达50%以上。在不同品种板栗的质地方面, 大板红及大板栗的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性大于其他几个品种, 对板栗各质地参数间的相关性分析, 得出硬度与咀嚼性、胶黏性呈显著正相关, 与范新光^[22]及Muskovics^[24]等的研究结果一致。内聚性与胶黏性、咀嚼性呈极显著正相关, 弹性与胶黏性及咀嚼性呈一定的负相关。综合分析认为大板红品质比较优良, 同时由于各地气候条件有差异, 应根据不同地理条件、产品用途等选择合适的品种进行种植及产品加工。

板栗的种植主要依托山区林地资源, 兼具有不与粮争地的显著特点, 也是最为代表的木本粮食产业。大力发展板栗产业对保障国家粮食安全, 调整农业产业结构, 加快山区经济发展和促进农民增收就业具有重大的战略意义^[25]。目前我国的板栗加工技术比较落后, 生产效率低, 有待进一步研究, 开发各种优质的深加工新产品。

参考文献:

- 耿建暖. 板栗加工中不同去皮工艺对褐变的影响比较研究[J]. 食品工业, 2013, 34(8): 54-56.
- 林顺顺, 祝美云, 张建威. 中国板栗的研发现状和前景[J]. 农产品加工(学刊), 2010(12): 74-76. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2010.12.023.
- 李瑶瑶. 板栗红枣的营养价值及复合饮料的发展前景[J]. 中国果菜, 2014, 34(6): 44-47. DOI:10.3969/j.issn.1008-1038.2014.06.018.
- 王向红, 桑建新, 张子德, 等. 不同品种板栗的营养价值和品质分析[J]. 食品科技, 2004, 29(3): 95-97. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2004.03.033.
- 陈在新, 魏天才. 板栗的营养保健作用及其开发利用[J]. 农产品开发, 1999(4): 4-5.
- 徐娟, 梁丽松, 王贵禧, 等. 不同品种板栗贮藏前后主要营养成分变化研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 150-153. DOI:10.3321/j.issn.1001-1498.2008.02.004.
- 徐志祥. 板栗营养价值及其养生保健功能[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 118-119. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2004.05.044.
- 秦岭. 中国板栗资源和栗疫病菌株的遗传多样性及板栗对疫病菌的抗性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- 黄武刚. 中国板栗生产的现状、问题与对策[J]. 中国林业, 2003(7): 18-19.
- 高海生, 常学东, 蔡金星, 等. 我国板栗加工产业的现状与发展趋势[J]. 中国食品学报, 2006, 6(1): 429-436. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2006.01.088.
- 徐同成, 王文亮, 刘洁, 等. 板栗制品开发现状及发展趋势[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(8): 17-19. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2011.08.006.
- 马玉敏, 张继亮, 孙海伟, 等. 板栗品种生物学特性研究[J]. 落叶果树, 2000, 32(3): 14-15. DOI:10.3969/j.issn.1002-2910.2000.03.006.
- 续九如, 张莉, 柳玉明, 等. 板栗不同品种果品分析初报[J]. 河北林业科技, 1998(3): 6-9.
- 冯建灿, 代丰瑞, 张玉洁, 等. 河南板栗果实性状多样性研究[J]. 经济林研究, 1998, 16(4): 36-37.
- 齐香君. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定溶液中还原糖的研究[J]. 纤维素科学与技术, 2004, 12(3): 17-19. DOI:10.3969/j.issn.1004-8405.2004.03.003.
- 施纪, 白洁. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 286-289.
- 郭冬生, 彭小兰. 蒽酮比色法和酶水解法两种淀粉测定方法的比较研究[J]. 湖南文理学院学报, 2007, 19(3): 34-36.
- SABINE K, HEIDRUN U, FRANZ B, et al. Volatile compound analysis of SPME headspace and extract samples from roasted Italian chestnuts (*Castanes mollissima*) using GC-MS[J]. European Food Research, 2004, 219: 470-473. DOI:10.1007/s00217-004-0983-5.
- 田海龙, 张平, 农绍庄, 等. 基于TPA测试法对1-MCP处理后葡萄果实实质构性能的分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 104-107. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2011.03.033.
- 杨玲, 肖龙, 王强, 等. 质地多面分析(TPA)法测定苹果果肉质地特性[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 977-985.
- MADIETA E, SYMONEAUX R, MEHINAGIC E. Textural properties of fruit affected by experimental conditions in TPA tests: an RSM approach[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(5): 1044-1052. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02606.x.
- 范新光, 张长峰, 郭风军, 等. TPA测试在评价板栗质地特性方面的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 280-284.
- 梁建兰, 高红叶, 赵玉华, 等. ‘燕龙’板栗贮藏期香气成分的组成及其变化[J]. 果树学报, 2014, 31(3): 410-414.
- MUSKOVICS G, FELFÖLDI J, KOVÁCS E, et al. Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry cultivars[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(1): 56-63. DOI:10.1016/j.postharvbio.2005.12.007.
- 戴永务. 世界主要木本粮食生产和贸易格局变动分析[J]. 林业经济问题, 2012, 32(4): 295-300. DOI:10.3969/j.issn.1005-9709.2012.04.003.