

文冠果种仁营养物质和脂肪酸组成与氨基酸的评价

昕^{1,2,3} 李显玉^{2,3} 杨素芝^{2,3} 冯昭辉^{2,3} 芦特^{2,3} 阿拉坦图^{2,3} 关岛⁴ 白玉茹^{2,3} 乌志^{2,3,*}

(1 东北林业大学, 哈尔滨 150040; 2 国家林业草原文冠果工程技术研究中心, 赤峰 024000; 3 赤峰市林业科学研究所, 赤峰 024000; 4 赤峰市林业和草原局, 赤峰 024000)

摘 要 以不同产地文冠果种仁为材料, 对文冠果种仁营养物质、脂肪酸、活性成分、氨基酸等组成与含量进行了测定与分析。应用氨基酸比值系数法, 以WHO/FAO氨基酸参考模式为评价标准, 对其必需氨基酸的组成进行了评价。结果表明: 文冠果种仁中粗脂肪的含量为56.2%, 蛋白质的含量为25.9%, 粗纤维含量为10.4%, 灰分含量为2.4%。文冠果种仁含有丰富的P、Ca、K、Mg、Na、Cu等多种微量元素。文冠果种仁中含有13种脂肪酸, 不饱和脂肪酸约为91.74%。文冠果种仁中含有维生素C、维生素E、多酚、黄酮、甾醇等活性物质。文冠果种仁中含有17种氨基酸, 氨基酸总含量为24.27%, 其中8种人体必需氨基酸的总含量为8.44%, 亮氨酸含量最高, 为1.84%。其必需氨基酸的构成比例基本符合食品法典委员会(WHO/FAO)的标准, 其氨基酸的比值系数评分(SRC)为77.55。文冠果种仁营养物质、活性成分丰富, 所含人体必需氨基酸的种类齐全, 并且含有独特的功能性脂肪酸—神经酸, 是有益于人体健康的优质食品原料。

关键词: 文冠果; 种仁; 营养物质; 氨基酸; 脂肪酸; 神经酸

Composition of Nutrient Substances and Fatty Acids and Evaluation of Amino Acids in the Seed Kernel of *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge

Lu Xin^{1,2,3} Li Xianyu^{2,3} Yang Suzhi^{2,3} Feng Zhaoxue^{2,3} Lu Te^{2,3} Tu Ya^{2,3} Guan Dao⁴ Bai Yuru^{2,3} Wu Zhiyan^{2,3,*}

(1 State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, 150040; 2 Chifeng Research Institute of Forestry Science, Chifeng, 024000; 3 National Forestry and Grassland Shiny-Leaved Yellowhorn Engineering and Technology Research Center, Chifeng, 024000; 4 Chifeng Forestry and Grassland Bureau, Chifeng, 024000)

Abstract Taking *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge seeds from different areas as materials, the composition and content of nutrients, fatty acids, active components and amino acids of *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge seeds were determined and analyzed. And using the amino acid ratio coefficient method, using the WHO/FAO amino acid reference model as the evaluation standard, the composition of its essential amino acids was evaluated. The results showed that the crude fat content in the seed kernels of was 56.2%, the protein content was 25.9%, the crude fiber content was 10.4%, and the ash content was 2.4%. The seed kernels of *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge are rich in P, Ca, K, Mg, Na, Cu and other trace elements. There are 13 kinds of fatty acids in the seeds of *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge, and the unsaturated fatty acids are about 91.74%. The seed kernels of *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge contain vitamin C, vitamin E, polyphenols, flavonoids, sterols and other active substances. There are 17 kinds of amino acids in the seed kernels of *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge.

ge, and the total amino acid content is 24.27%. Among them, the total content of 8 essential amino acids is 8.44%, and the leucine content is the highest, 1.84%. The composition ratio of its essential amino acids basically meets the standards of the Codex Alimentarius Commission (WHO/FAO), and its amino acid ratio coefficient score (SRC) is 77.55. The research results show that the nutrient and active substances of the *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge seed kernels are rich, and they contain a complete range of essential amino acids, and contain a unique functional fatty acid-nervonic acid, which is a high-quality food material beneficial to human health.

Keywords *Xanthoceras Sorbifolium* Bunge; seeds; nutrients; amino acids; fatty acids; nervonic acid

文冠果 (*Xanthoceras Sorbifolium* Bunge) 属于无患子科文冠果属, 是我国特有的珍稀木本油料树种和乡土树种, 也是我国北方山区绿化、退耕还林、防风固沙的首选生态经济树种, 具有巨大的开发和利用潜力。文冠果在我国北方分布广泛, 自然分布在内蒙古、山西、陕西、山东、河北等地。其根系发达、保水力强, 耐干旱、严寒、贫瘠, 具有在荒山、荒地、沙化等不良条件下生长的能力, 同时具有结实早、收益快、产量高、盛果期长, 含油率高和综合利用价值大等特点。由于其极端环境的良好适应力, 而被广泛应用于水土保持。此外, 文冠果是我国重要的木本油料作物, 其籽粒含油量高 (55%~65%), 不饱和脂肪酸含量 (85%~93%) 丰富。文冠果种仁富含脂肪和蛋白质, 脂肪酸构成中不饱和脂肪酸含量在90%以上, 且饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的比值, 非常接近食用油脂脂肪酸合理配比。充分开发利用木本油料树种, 对于保障国家粮油安全具有重要的现实意义。国家从能源发展的战略角度出发, 将培育和发展林业生物质能源列入国家林业发展规划, 林业生物质能源树种面临巨大的发展机遇。文冠果的开发利用价值正逐渐受到国内外学者的关注。

为了深入、系统地对文冠果种仁的综合品质及食用价值进行分析研究, 本研究对文冠果种仁的营养物质、脂肪酸组成、活性成分、矿物质元素和氨基酸组成和含量进行测定, 全面评价了文冠果种仁的营养特点, 为文冠果种仁开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用的文冠果分别采自内蒙古赤峰、山东潍坊、陕西富县、宁夏吴忠、内蒙古阿拉善和新疆石河子。将采集的文冠果种子经脱壳得到文冠果种仁。

1.2 测定方法

按照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中规定的方法测定总脂肪含量; 按照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中规定的方法测定总蛋白含量; 按照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中规定的方法测定灰分含量; 按照 GB 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》中规定的方法测定粗纤维含量; 按照 GB 5009.82-2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》中规定的方法测定维生素的含量; 按照 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定本》中规定的方法测定微量元素含量; 按照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的方法测定脂肪酸含量; 按照 GB/T 25223-2010《动植物油脂 甾醇组成和甾醇总量》中的方法测定甾醇含量; 按照 NY/T 57-1987《谷物籽粒色氨酸测定法》中规定的方法测定色氨酸

酸含量,按照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》中规定的方法测定氨基酸含量。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件对数据进行处理。

1.4 氨基酸评价方法

参照文献计算氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RCAA)、氨基酸比值系数分(SRCAA),将 6 个产地的文冠果种仁氨基酸组成与 FAO/WHO 的人体必需氨基酸标准模式进行比对,综合评价其氨基酸的营养价值。

2 结果与分析

2.1 文冠果营养物质分析

文冠果种仁中营养物质及其含量测定结果见表 1。结果可知,文冠果种仁中含有丰富的营养物质,包括蛋白质、脂肪、粗纤维、维生素、碳水化合物等。其中脂肪的含量最高,平均为 56.2%。其次为蛋白质,含量为 25.9%;灰分含量可以反映文冠果种仁中矿物质的含量,文冠果种仁中灰分含量为 2.4%,说明其含有丰富的矿质元素和微量元素。

表 1 文冠果种仁营养物质含量
Tab. 1 Nutrient content of kernel

营养物质 Nutrients / g/100g	内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Mongolia	山东潍坊 Weifang, Shandong	陕西富县 Fu County, Shaanxi	宁夏吴忠 Wu Zhong, Ningxia	内蒙古阿拉善 Alxa League, Inner Mongolia	新疆石河子 Shihezi, Xinjiang
蛋白质 Protein	26.7±0.15	25.5±0.17	26±0.23	26.9±0.36	22.9±0.20	27.6±0.31
灰分 Ash	2.3±0.21	2.3±0.10	2.4±0.16	2.5±0.09	2.3±0.14	2.4±0.17
粗脂肪 Crude fat	54.9±0.03	55.2±0.06	56.4±0.11	57.6±0.16	55.9±0.12	57.4±0.10
粗纤维 Crude fiber	10.9±0.07	11.4±0.04	9.6±0.06	9.65±0.21	11.6±0.09	9.16±0.16
糖 Sugar	1.8±0.28	1.8±0.19	2.1±0.16	1.9±0.14	2.0±0.17	2.0±0.23
碳水化合物 Carbohydrates	2.2±0.11	2.5±0.09	1.8±0.13	0.2±0.12	4.1±0.16	0.3±0.24

将文冠果种仁中的营养物质与大豆、花生进行比较,结果见图 1。与大豆和花生相比,文冠果种仁中粗脂肪、粗纤维的含量最高。其中,粗脂肪含量分别是大豆和花生的 3.28 倍、1.17 倍;粗纤维含量分别是大豆和花生的 1.91 和 1.75 倍。

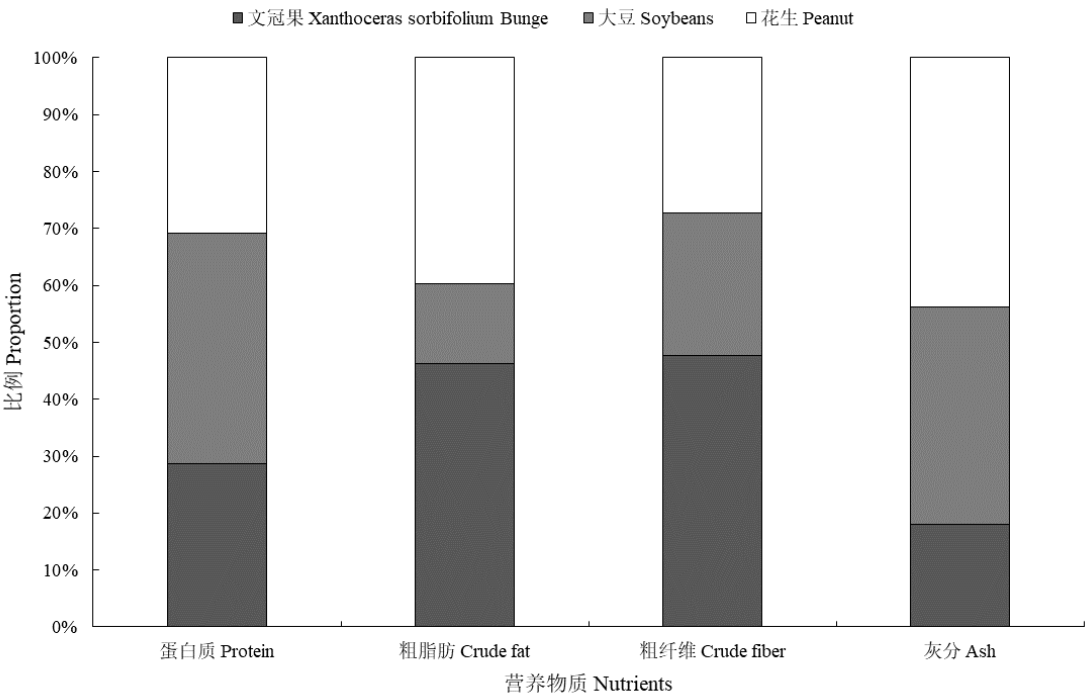


图 1 不同油料植物营养物质含量
Fig. 1 Nutrient content of different oil plants

文冠果种仁中含有丰富的磷（P）、钙（Ca）、钾（K）、镁（Mg）等矿物质元素和钠（Na）、铜（Cu）等微量元素（表 2）。试验结果可知，文冠果种仁中钾元素的含量最高，为 7026.67 mg/kg，其次为磷元素，含量为 6003.3 mg/kg；镁和钙元素的含量也较高，分别为 1913.33 mg/kg 和 672.0 mg/kg。对于不同地区文冠果种仁，磷元素和镁元素含量最高的地区均为内蒙古阿拉善，分别为 6280.0 mg/kg 和 2060.0 mg/kg；钙元素和钠含量最高的是山东潍坊，分别为 803.0 mg/kg 和 9.6 mg/kg；钾元素最高的地区是陕西富县，为 7820.0 mg/kg，铜元素含量最高的地区是新疆石河子，为 8.3 mg/kg。

表 2 文冠果种仁矿物元素含量
Tab. 1 Mineral element content of kernel

矿物元素 M ineral elements /mg/kg	内蒙古赤				内蒙古阿拉	
	峰	山东潍坊	陕西富县	宁夏吴忠	善	新疆石河
	Chifeng, Inner Mongoli a	Weifang, Sh andong	Fu County, Shaanxi	Wu Zhon g, Ningxia	Alxa Leagu e, Inner Mong olia	子 Shihezi, Xi njiang
P	5520.0±3.41	5780.0±5.14	5840.0±4.97	6280.0±6.15	6360.0±5.90	6240.0±4.33
Ca	740.0±2.11	803.0±1.97	650.0±1.33	681.0±1.75	660.0±1.69	498.0±1.82
K	6510.0±3.01	6630.0±4.18	7820.0±5.97	6880.0±6.01	6820.0±5.31	7500.0±5.12
Mg	1750.0±1.36	1760.0±1.07	1840.0±0.99	2030.0±1.54	2060.0±2.10	2040.0±2.03
Na	4.4±0.07	9.6±0.10	4.9±0.11	5.6±0.90	7.3±0.12	6.4±0.06
Cu	6.1±0.20	5.9±0.13	6.5±0.19	7.6±0.17	6.0±0.14	8.3±0.21

与大豆和花生相比（图 2），文冠果种仁中的磷、钙、钾等矿物元素低于大豆但高于花生，分别是花生 2.94、1.68、2.30 倍，镁元素分别是大豆和花生的 1.52 和 1.20 倍。对于其他微量元素，文冠果种仁中钠元素的含量远高于花生，是花生的 3.53 倍。

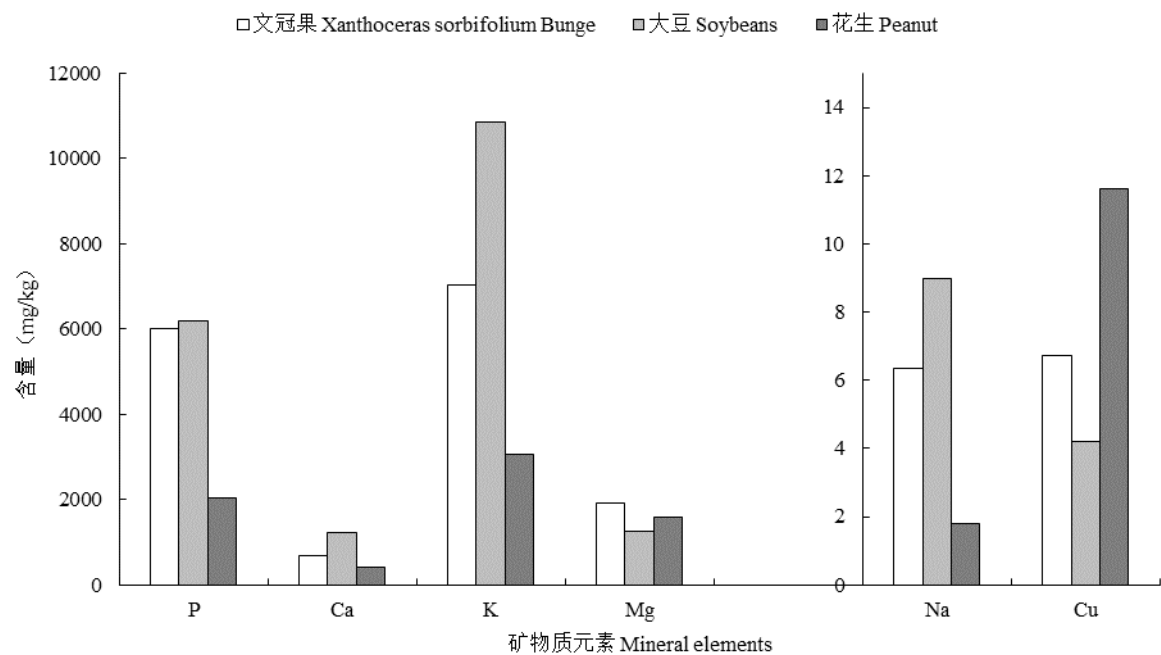


图 2 不同油料植物矿物质元素含量
Fig. 2 Mineral elements content of different oil plants

2.2 文冠果脂肪酸组成和含量

文冠果种仁脂肪酸组成及含量见图 3。结果可知，文冠果种仁中共包含有 13 种脂肪酸，分别为棕榈酸（十六碳酸，C16:0）、棕榈烯酸 C16:1、硬脂酸（十八碳酸，C18:0）、油酸（顺-9-十八碳一烯酸，C18:1n9 c）、亚油酸（顺,顺-十八碳二烯酸，C18:2n6c）、 α -亚麻酸（顺,顺,顺-十八碳三烯酸，C18:3n3）、花生酸（二十碳酸，C20:0）、顺-11-二十碳烯酸 C20:1、11, 14-二十碳烯酸（顺,顺-二十碳二烯酸，C20:2）、二十二碳酸 C22:0、13-二十二碳烯酸（顺-13-二十二碳一烯酸，C22:1n9）、二十四酸（C24:0）、二十四碳烯酸（顺-15-二十四碳一烯酸，C24:1）。

其中，油酸的含量约为 41.23%，容易被人体吸收，可以降低人体血脂、抑制低密度脂蛋白升高。亚油酸含量约为 30.37%，是人体必需脂肪酸，可以降低胆固醇、预防动脉粥样硬化。二者是文冠果种仁脂肪酸最主要的组成部分。亚油酸和油酸含量高的文冠果种仁有益于人体健康。对于特殊的功能性脂肪酸，文冠果种仁中所含的神经酸含量约为 3.27%，这与文献报道的含量（1.4%~4.6%）相符。神经酸是大脑神经纤维和神经细胞的核心天然成分，具有修复大脑神经信息传递通道的功效，对预防和治疗脑神经衰弱和阿尔茨海默症有独特作用。

文冠果种仁中不饱和脂肪酸含量约为 91.47%。不饱和脂肪酸具较好的生理活性作用，能保证细胞的正常生理功能，可降低血液中胆固醇、甘油三酯和血液黏稠度，改善血液微循环，提高脑细胞活性，增强记忆力和思维能力。

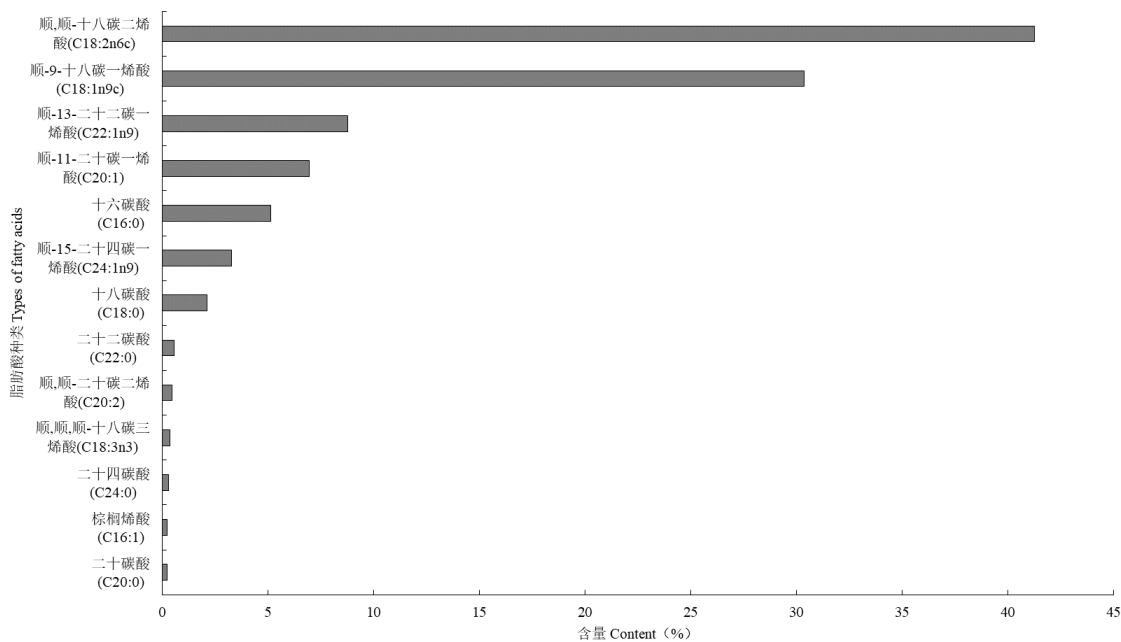


图 3 文冠果种仁脂肪酸组成及含量
Fig. 2 Fatty acid composition and content of kernel

2.3 文冠果活性成分分析

表 1 可知，文冠果种仁中维生素 C 和维生素 E 含量较高。在人体中，维生素 C 是高效抗氧化剂，用来减轻抗坏血酸过氧化物酶基底的氧化应力。同时，还有许多重要的生物合成过程中也需要维生素 C 参与作用。文冠果种仁中维生素 C 含量为 10.7 mg/100g，可以为人体补充所必须的营养物质。维生素 E 是一种脂溶性维生素，是人体正常所需要的基本营养素，其水解产物为生育酚，是最主要的抗氧化剂之一。同时，维生素 E 可抑制眼睛晶状体内的过氧化脂反应，使末梢血管扩张，改善血液循环，预防近视眼发生和发展，文冠果种仁中维生素 E 含量为 10.9 mg/100g。二者均高于大豆和花生。

表 3 文冠果种仁维生素含量
Tab. 3 Vitamin content of kernel

维生 素 Vitami ns /mg/ 100g						内蒙古阿 拉善 Alxa Leag ue, Inner Mon golia	新疆石河子 Shihezi, Xi njiang
	内蒙古赤峰 Chifeng, Inn er Mongolia	山东潍坊 Weifang, Sh andong	陕西富县 Fu County, Shaanxi	宁夏吴忠 Wu Zhong, Ningxia			
B1	0.152±0.02	0.156±0.05	0.161±0.10	0.143±0.04		0.179±0.06	0.170±0.09
B2	0.117±0.04	0.127±0.06	0.067±0.07	0.145±0.05		0.125±0.11	0.133±0.07
C	9.5±0.99	10.6±1.11	11.3±1.30	11.2±1.02		11.5±1.47	10.1±1.84
E	11.6±1.21	11.7±1.33	10.4±1.09	11.3±1.47		10.2±1.57	10.1±1.39

文冠果种仁中含有多酚、黄酮、甾醇等活性物质。多酚含量为约 1484.17 mg/kg，具有较好的抗氧化性。黄酮的含量为 878.33 mg/kg，具有降血脂、降胆固醇、抗菌、抗炎症等功效。甾醇总量为 745.50 mg/kg，其主要成分为谷甾醇（752.9 mg/kg）、 Δ 7-豆甾烯醇（549.7 mg/kg）、 Δ 7-燕麦甾烯醇（148.4 mg/kg），三者含量约占甾醇总量的 83.1%。对于不同产地文冠果种仁（图 4），总多酚含量最高的为山东潍坊，含量为 1655 mg/kg，总黄酮最高的是宁夏吴忠，含量为 1090 mg/kg，总甾醇最高的为陕西富县，含量为 2018 mg/kg。

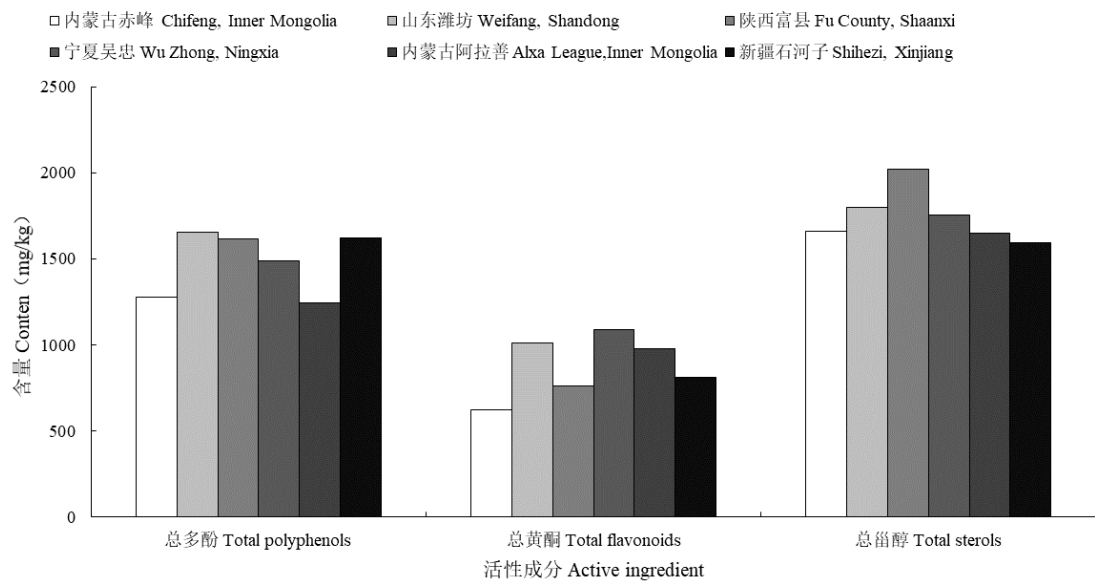


图 4 文冠果种仁活性成分含量
Fig. 4 Active ingredient content of kernel

2.4 文冠果氨基酸组成分析与评价

2.4.1 文冠果种仁氨基酸组成及含量测定

文冠果种仁中氨基酸组成和含量结果见表 4。文冠果种仁中包含有赖氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸、组氨酸、精氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、酪氨酸、丝氨酸、胱氨酸、天冬氨酸、谷氨酸等 17 种氨基酸，总含量为 24.27%。包含除色氨酸以外的其余 8 种人体必需氨基酸，总含量为 8.44%，占总氨基酸含量的 34.77%。含量最高的是亮氨酸，含量为 1.84%，其次为缬氨酸（1.42%）、异亮氨酸（1.16%）、赖氨酸（1.13%）、苯丙氨酸（1.05%）、苏氨酸（0.83%）、组氨酸（0.52%）、蛋氨酸（0.5%）。

表 4 文冠果种仁氨基酸组成和含量
Tab. 4 Amino acid composition and content of kernel

人体必需氨基酸		非必需氨基酸		总氨基酸	含量 Content /%
Essential amino acids (EAA)	含量 Content /%	Non-essential amino acids (NEAA)	含量 Content /%	Total amino acids (TAA)	
亮氨酸 Leucine	1.84	谷氨酸 Glutamate	5.41	必需氨基酸 EAA	8.44
缬氨酸 Valine	1.42	精氨酸 Arginine	2.75	非必需氨基酸 N EAA	15.83
异亮氨酸 Isoleucine	1.16	天冬氨酸 Aspartic	1.80		
赖氨酸 Lysine	1.13	甘氨酸 Glycine	1.40		
苯丙氨酸 Phenylalanine	1.05	丝氨酸 Serine	1.32		
苏氨酸 Threonine	0.83	丙氨酸 Alanine	1.23	总氨基酸 TAA	24.27
组氨酸 Histidine	0.52	酪氨酸 Tyrosine	1.17	必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	34.77
蛋氨酸 Methionine	0.50	脯氨酸 Proline	0.55		
-	-	胱氨酸 Cystine	0.22		

对于不同产地的文冠果种仁，人体必需氨基酸的含量是不同的（图 5）。内蒙古赤峰、山东潍坊、陕西富县、宁夏吴忠、内蒙古阿拉善、新疆石河子等地区的含量分别为 8.94%、8.54%、8.41%、8.46%、7.44%、8.83%。其中最高的为内蒙古赤峰，含量最低的为内蒙古阿拉善。

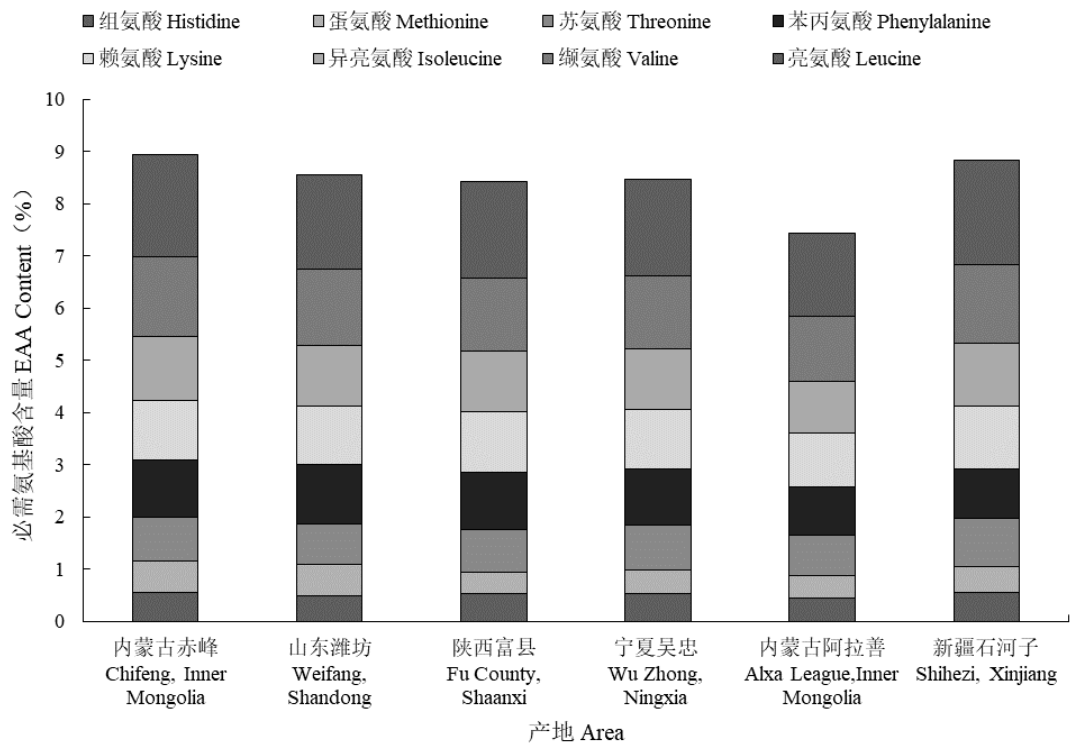


图 5 不同产地文冠果必需氨基酸含量

Fig. 5 EAA content of kernel in different origin

2.4.2 文冠果种仁中必需氨基酸组成的评价

根据文冠果种仁各氨基酸含量，可计算得到每种氨基酸的质量分数。将计算结果与联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(WHO/FAO)提出的评价蛋白质营养价值的必需氨基酸标准模式进行对照分析(表 5)。结果可知，人体必需氨基酸中，占总氨基酸比例较高的是亮氨酸(7.6%)与缬氨酸(5.9%)。通过氨基酸比值可知，文冠果种仁中亮氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和组氨酸的含量要高于标准模式，其中组氨酸的含量为标准模式的 1.25 倍，在所有必需氨基酸中最高；赖氨酸、蛋氨酸+胱氨酸和苏氨酸的含量略低于且接近标准模式。

表 5 文冠果种仁氨基酸评分
Tab. 5 Amino acid score of kernel

必需氨基酸种类 Essential amino acids	含量 Content /%	WHO/ FAO 标准 模式 WHO/ FAO stand ard model /%	氨基酸 比值 Ratio o f amino aci d (RA A)	氨基酸比值系数 Ratio coefficient of amino acid (RC)	氨基酸 比值系数分 Score of ratio coefficie nt of amino acid (SRC)
亮氨酸 Leucine	7.6	7.0	1.08	0.99	77.55
赖氨酸 Lysine	4.7	5.5	0.85	0.77	
苯丙氨酸+酪氨酸	9.2	6.0	1.53	1.40	

Phenylalanine + Tyrosine 缬氨酸	5.9	5.0	1.17	1.07
Valine 蛋氨酸+胱氨酸	2.9	3.6	0.82	0.75
Methionine + Cystine 异亮氨酸	4.8	4.0	1.19	1.09
Isoleucine 苏氨酸	3.4	4.0	0.86	0.78
Threonine 组氨酸	2.1	1.7	1.25	1.14
Histidine 总氨基酸	40.5	36.8	1.0922	-
Total amino acids				

基于 WHO/FAO 氨基酸平衡理论，结合 WHO/FAO 的必需氨基酸标准模式数据，计算文冠果种仁各种必需氨基酸占总氨基酸的比值 RAA（氨基酸比值（RAA）=氨基酸含量/模式氨基酸含量）、氨基酸比值系数 RC（氨基酸比值系数（RC）=氨基酸比值/氨基酸比值之均数）和比值系数分 SRC（氨基酸比值系数分（SRC）=100-变异系数×100）（表 5）。文冠果种仁氨基酸比值系数分约为 77.55 分，较为接近 100 分，表明文冠果种仁营养价值相对较高。

3 结论

通过对不同产地文冠果种仁的营养物质、脂肪酸、活性成分、氨基酸等组成与含量进行了测定，结果表明文冠果种仁是高含油量原料，其粗脂肪的含量约为56.2%，营养物质丰富，蛋白质和粗纤维含量较高。文冠果种仁含有丰富的P、Ca、K、Mg、Na、Cu等多种微量元素。就脂肪酸而言，文冠果种仁中脂肪酸种类较丰富，共有13种，不饱和脂肪酸约为91.74%。同时，文冠果种仁中还含有维生素C、维生素E、多酚、黄酮、甾醇等活性物质。对文冠果种仁中氨基酸组成进行分析，其含有17种氨基酸，总含量为24.27%，其中8种人体必需氨基酸的总含量为8.44%。其必需氨基酸的构成比例基本符合食品法典委员会（WHO/FAO）的标准，其氨基酸的比值系数评分（SRC）为77.55。文冠果种仁营养物质、活性物质丰富，所含人体必需氨基酸的种类齐全，并且含有独特的功能性脂肪酸-神经酸，是有益于人体健康的优质食品原料。

在未来对于研究中，可从几个方面进行深入探索：（1）加强文冠果种仁营养功能研究，开发、验证其活性成分药用价值，探究具体功能机制；（2）建立完整的文冠果种仁功能性成分提取方法，深化稳定性研究，深入开发相关产品；（3）建立高纯度分离提取技术体系，根据文冠果种仁、油脂特性，研发、改进、优化文冠果脂肪酸的萃取工艺与装备技术，达到油脂、油粕的充分分类，满足进一步精制分离的质量要求；（4）从文冠果油脂中分离出高纯高质量神经酸和芥酸，研制高级健康保健文冠果油序列新产品，建立新产品制作工艺全产业链的品质监控指标体系。