不同产地火麻仁的品质特性比较

王世连，阮征，李汴生

（华南理工大学食品科学与工程学院，广东广州 510640）

摘要：本研究选取了来自中国 6 个主要产区的火麻仁：安徽六安（ALHS）、广西巴马（GBHS）、甘肃天水（GTHS）、河北保定（HBHS）、黑龙江绥化（HSHS）、云南大姚（YDHS），对其外观、物理指标、基本营养成分、总酚和总黄酮含量进行测定，以自由基清除能力和铁离子还原能力评价火麻仁的抗氧化性，并对营养成分和抗氧化活性成分之间的相关性进行分析。研究结果表明: YDHS 质量最大，为 7.29 g/100 粒，蛋白质（19.18 g/100 g）、总糖（4.98 g/100 g）和总氨基酸（28.92 g/100 g）含量最高；GBHS 出仁率最高，为 54.92%；ALHS 脂肪含量最高，达 53.06%；GTHS 灰分（4.86 g/100 g）含量最高，出仁率最低（45.57%）；各产地的火麻仁含有大量常量元素 P（1050.51~1260.09 mg/100 g）和微量元素 Fe（6.93~9.83 mg/100 g）；不同产地火麻仁的总酚和总黄酮含量分别在 1.71~2.57 mg GAE/g 和 0.41~2.92 mg QE/g 之间，其中 YDHS 的总酚和总黄酮含量均最高。抗氧化实验结果表明，对于 DPPH 自由基清除能力和 FRAP 值，YDHS 表现出最高值（1.92 μmol TE/g 和 8.89 μmol FE/g），GBHS 表现出最低值（1.29 μmol TE/g 和 4.69 μmol FE/g）。DPPH 和 FRAP 与总酚含量之间呈现显著性相关（p<0.05）。综合火麻仁主要成分及其抗氧化活性分析，YDHS 品质最优。

关键词：火麻仁；物理特性；营养成分；抗氧化活性

文章篇号：1673-9078(2021)03-163-170 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0233

Comparison of the Quality Characteristics of Hempseeds from Different Growing Regions

WANG Shi-lian, RUAN Zheng, LI Bian-sheng

(College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this study, hempseeds from six main growing regions of China were selected: Anhui Lu'an (ALHS), Guangxi Bama (GBHS), Gansu Tianshui (GTHS), Hebei Baoding (HBHS), Heilongjiang Suihua (HSHS), and Yunnan Dayao (YDHS). The appearance, physical indicators, basic nutrients, total phenolic contents and total flavonoid contents, as well as the antioxidant activities (as free radical scavenging capacity and ferric ion reducing power),of these hempseeds were investigated. The correlation between nutritional components and antioxidant activity was also analyzed. The research results showed that YDHS had the highest mass (7.29 g/ 100 grains) protein content (19.18 g/100 g), total sugars content (4.98 g/100 g) and total amino acid content (28.92 g/100 g). GBHS had the highest kernel yield (54.92%) and ALHS had the highest fat content (53.06%) GTHS had the highest ash content (4.86 g/100 g) and the lowest kernel yield (45.57%). The hempseeds from various regions contained large amounts of macro element P (1050.51~1260.09 mg/100 g) and trace element Fe (6.93~9.83 mg/100 g), with their total phenolic contents and total flavonoid contents in the range of 1.71~2.57 mg GAE/g and 0.41~2.92 mg QE/g, respectively (the highest contents of total phenolics and total flavonoids were with YDHS). The results of antioxidant tests showed that in terms of DPPH free radical scavenging ability and FRAP, YDHS had the highest values (1.92 μmol TE/g and 8.89 μmol FE/g, respectively) and GBHS had the lowest values (1.29 μmol TE/g and 4.69 μmol FE/g, respectively).Positive and significant correlations were found between total phenolic contents of hempseeds and their antioxidant activities (p<0.05). Base on the comprehensive analyses of the main components and antioxidant activities of hempseeds, the quality of YDHS was the best.

引文格式：

王世连,阮征,李汴生.不同产地火麻仁的品质特性比较[J].现代食品科技,2021,37(3):163-170

WANG Shi-lian, RUAN Zheng, LI Bian-sheng. Comparison of the quality characteristics of hempseeds from different growing regions [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 163-170

收稿日期：2020-03-13

基金项目：国家重点研发计划项目（2017YFD0400400）

作者简介：王世连（1994-），男，硕士研究生，研究方向：食品加工和保藏；通讯作者：李汴生（1962-），男，博士，教授，研究方向：食品加工和保藏

Key words: hempseed; physical characteristics; nutritional components; antioxidant activity

火麻（*Cannabis sativa* L.）又叫汉麻、线麻等，是大麻科（Cannabaceae）大麻属的草本植物，自古以来就是食物、纤维、药物的重要来源。火麻仁是火麻成熟的种仁，中国人将火麻仁作为食物食用和作为药用已经有 3000 多年历史[1]。火麻仁含有丰富的不饱和脂肪酸、蛋白质、膳食纤维以及矿物质[2]。2002 年，国家卫生和计划生育委员会将火麻仁列入“既是食品又是药品”的名录，火麻仁收录在《中国药典》[3]。

火麻在我国分布广阔，在华东、华中、华南、华北、东北和西部地区均有种植，是世界火麻重要的起源地之一。目前我国火麻种植规模较大省份有广西、云南、安徽、山西、甘肃、河北、吉林及黑龙江等。各省份种植火麻的用途存在差异，安徽、河南和四川等地以麻用为主，广西、云南和甘肃等地以食用为主，山西、河北以及东北各省种植的为麻食兼用[4]。作为火麻仁的生产及消费大国，根据联合国粮食及农业组织（FAO）官方统计数据显示，至 2018 年我国火麻种植面积 14342 公顷，单位面积火麻仁产量为 2723 kg 每公顷，总产量高达 3.9 万 t。但由于种植方式、气候和环境条件的不同，外加品种上的差异，造成了不同产地的火麻仁在外观大小、经济性状及营养成分等方面存在差异。

我国传统医学对于火麻仁的研究历史悠久，《本草纲目》和《神农本草经》中对火麻仁的医用价值均有记载，称将其干燥炮制入药能“去风痹皮顽，令人心欢，利大肠、风热结燥”，“补中益气，久服肥健不老”等[5]。近年来，火麻仁的功能特性越来越受到重视，其润肠通便[6]、抗氧化[7]、降低心血管疾病[8]、抗炎护肝[9]等功能作用研究均有报道。目前对不同产地火麻仁营养成分差异的研究分析多集中在蛋白质和脂肪[10,11]含量或单一物理性状[12]的对比，而关于火麻仁的性状、物理性质及其他营养成分地域差异的全面研究鲜有报道。

本文选择了安徽、广西、甘肃、河北、黑龙江和云南 6 个主要产区火麻仁，六个不同产地的火麻仁分别属于麻用品种（安徽六安）、食用品种（广西巴马、甘肃天水和云南大姚）和麻食兼用品种（河北保定和黑龙江绥化）。通过对其外观、物理性质、营养成分和抗氧化活性进行比较，并对抗氧化性和主成分进行相关性分析，为火麻仁品质的科学评价和火麻仁资源的开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

原料：火麻仁样品分别在安徽六安（ALHS）、广西巴马（GBHS）、甘肃天水（GTHS）、河北保定（HBHS）、黑龙江绥化（HSHS）和云南大姚（YDHS）6 个地市的火麻种植地采收，每个产地均随机在 3 个不同地点选择 20 株以上，去除虫害及干瘪样品。采收后将火麻仁密封袋中封口并置于实验室 4 ℃冰箱中保存。

试剂：槲皮素、没食子酸、Trolox、2,2-联苯基-1-苦基肼基（DPPH）、2,4,6-三吡啶基三嗪（TPTZ）购于麦克林；Folin-ciocalteu 试剂购于上海源叶生物科技有限公司，其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

EOS 800D 单反相机，佳能（中国）有限公司；K9840 型凯氏定氮仪，广州海能仪器有限公司；CR-400 型全自动色差仪，日本柯尼卡美能达公司；A300 型全自动氨基酸分析仪，德国曼默博尔公司；Agilent 5110 型电感耦合等离子体-原子发射光谱仪（ICP-OES），美国安捷伦公司。

1.3 试验方法

1.3.1 外观质量及特性的描述和测定

分别描述带壳火麻仁形状、壳面光滑程度、核仁饱满情况；用色差仪测定火麻仁外壳颜色的 L^*、a^*、b^*值；测定火麻仁全果（带壳）的百粒质量和核仁（去壳）百粒质量，计算果仁出仁率（去壳核仁质量占果实总质量的百分率）。

1.3.2 主要营养成分测定

水分含量测定采用直接干燥法，参考国标 GB 5009.3-2016；脂肪含量测定采用索氏抽提法，参考 GB 5009.6-2016；蛋白质含量测定采用凯氏定氮法，参考国标 GB 5009.5-2016；灰分含量测定采用灼烧称重法，参考国标 GB 5009.4-2016；总糖含量测定采用苯酚-硫酸法，参考国标 GB/T 15672-2009；氨基酸含量测定参考国标 GB 5009.124-2016；矿物元素含量测定参考谭亮等[13]方法。

1.3.3 酚类物质含量测定

总酚含量测定采用 Folin-Ciocalteu 法[14]，含量以每克样品中含有的没食子酸当量（mg GAE/g）表示；总黄酮含量测定采用 $NaNO_2$-$Al(NO_3)_3$ 比色法[15]，含量以每克样品中含有的槲皮素当量（mg QE/g）表示。

1.3.4 火麻仁抗氧化活性的测定

1.3.4.1 DPPH 自由基清除能力

DPPH 自由基清除能力测定参考 Ma 等[16]实验方法。将 1 mL 样品提取液与 3 mL DPPH 自由基溶液（0.1 mmol/L）混合。剧烈震荡 1 min，暗处避光反应 30 min 后，迅速测定 517 nm 波长下的吸光值。DPPH 自由基清除能力以每克样品中含有的 Trolox 当量（μmol TE/g）表示。

1.3.4.2 铁离子还原能力（Ferric Reducing Antioxidant Power，FRAP）测定

参考 Benzie 等[17]实验方法测定火麻仁铁离子还原能力。按照 10:1:1 比例将乙酸盐缓冲液（300 μmol/L，pH 3.6）、TPTZ（10 mmol/L）和 $FeCl_3 \cdot 6H_2O$（20 mmol/L）溶液混合，配制成 FRAP 试剂。将 2.8 mLFRAP 试剂加热至 37 ℃，然后加入 0.2 mL 提取物上清液。将混合物置于 37 ℃下反应 10 min，立即在 593 nm 波长下测定吸光值。样品 FRAP 值以每克样品中含有的 Fe^{2+}当量（μmol FE/g）表示。

1.4 数据统计与分析

所有样品均设 3 个平行试验，实验结果（干重）表示为平均值±标准误差。采用 Origin 9.1 对数据进行处理与作图，采用 SPSS Statistic 24.0 对数据进行显著性差异及相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同产地火麻仁外部感官及物理指标比较

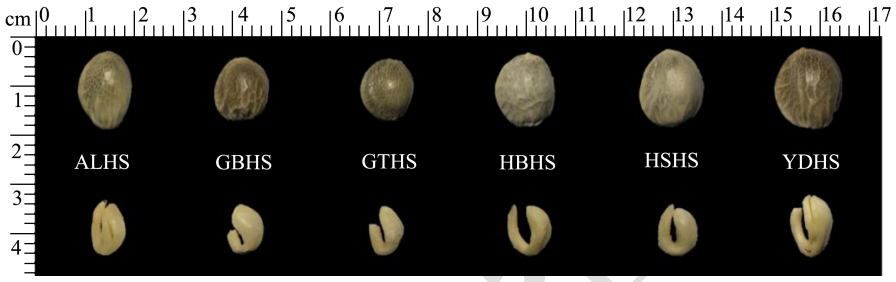

图 1 不同产地火麻仁及其核仁照片

Fig.1 The photos of whole fruit and seed of *Cannabis sativa* L. from different growing regions

表 1 不同产地火麻仁的物理指标比较

Table 1 Physical indexes of hempseed from different growing regions

编号	果形	外壳光滑程度	核仁饱满程度	外壳颜色			全果重/g	核仁重/g	出仁率/%
				L^*	a^*	b^*			
ALHS	椭圆	光滑	较饱满	24.34±1.23^{b}	1.58±0.45^{b}	-0.47±0.02^{b}	4.90±0.07^{d}	2.29±0.06^{f}	46.73±0.24^{e}
GBHS	圆	粗糙	饱满	24.99±1.12^{a}	1.68±0.01^{a}	-0.34±0.01^{c}	5.08±0.11^{c}	2.79±0.05^{b}	54.92±0.45^{a}
GTHS	圆	光滑	较饱满	25.01±0.88^{a}	1.60±0.18^{ab}	-0.39±0.02^{c}	5.42±0.03^{b}	2.47±0.02^{d}	45.57±0.18^{f}
HBHS	圆	粗糙	较饱满	20.76±0.64^{d}	1.47±0.07^{c}	-0.55±0.01^{a}	4.87±0.05^{d}	2.38±0.01^{e}	48.87±0.24^{d}
HSHS	圆	较光滑	饱满	20.84±1.06^{d}	1.46±0.23^{c}	-0.49±0.00^{b}	5.00±0.12^{c}	2.52±0.03^{c}	50.40±0.19^{c}
YDHS	圆	较光滑	饱满	23.57±1.74^{c}	1.65±0.11^{a}	-0.36±0.04^{c}	7.29±0.14^{a}	3.78±0.08^{a}	51.83±0.32^{b}

注：全果重、核仁重均为 100 粒的总质量；同一列中字母不同表示数值存在显著差异（p<0.05），表 2、4 同。

图 1 是来自六个不同产地的火麻仁及核仁照片。从图中可以直观的看出，不同产地的火麻仁在大小、形状、外壳光滑程度及色泽等都存在差异，YDHS 颗粒最大，GBHS 和 GTHS 颗粒较小。由表 1 统计数据可知，不同产地火麻仁的颗粒饱满度、全果质量、核仁质量及出仁率等物理指标也存在较大差异。除了 ALHS 呈椭圆形外，其他产地的火麻仁呈近似圆形。GBHS、YDHS 和 HBHS 的果壳表面较粗糙，ALHS、GTHS 和 HSHS 的果壳表面较为光滑。GBHS、YDHS、HSHS 核仁饱满，ALHS、GTHS、HBHS 的核仁饱满性稍差。从色泽上来看，不同产地火麻仁 L^*值在 20.76~25.01 之间，GTHS 的亮度最大，HBHS 和 HSHS 的亮度较低；a^*值范围为 1.46~1.68，HBHS 和 HSHS 颜色较其他四个产地火麻仁偏绿；不同产地的火麻仁 b^*值均为负值，其中 GBHS 的 b^*最大（-0.34），HBHS 的 b^*最小（-0.55）。由图 1 可以看出，随着产地纬度的增加，火麻仁外壳的颜色呈现逐渐变浅的趋势，由深棕色到棕绿色和灰白色变化。这可能是因为纬度越低，太阳辐射越强，促进植物中色素的积累。不同产地火麻仁的百粒全果及核仁质量差异显著（p<0.05），YDHS 的全果质量（7.29 g/100 粒）和核仁质量（3.78 g/100 粒）显著高于其他产地，其核仁质量是 HBHS

的 1.65 倍。王化东等[12]采用千粒重法测定了 24 份火麻仁全果质量为 1.36~5.0 g/100 粒，研究结果之间存在差异可能是产地和品种不同的原因造成。六个产地火麻仁的出仁率在 50%左右，GBHS 的出仁率最高（54.92%），GTHS 的出仁率最低（45.57%），其结果与核仁的饱满程度一致。

2.2 不同产地火麻仁主要营养成分含量

由于地理位置的不同，光照、温度、降雨及土壤等条件都有差异，直接影响了植物的生长发育，从而引起其外观品质和内在的营养品质的变化。对 6 个产地的火麻仁主要营养成分进行比较分析，结果如表 2 所示。6 个产地火麻仁水分含量在 5.72%~6.34%之间。不同产地火麻仁中的蛋白质含量差异显著（p<0.05），YDHS 的蛋白质含量最高，为 19.18%，HBHS 的蛋白质含量最低，仅为 11.15%。吴发明等[11]研究发现，四川凉山火麻仁的蛋白质含量高达 27.48%，陕西靖边火麻仁蛋白质含量为 17.90%。这可能是产地以及检测方法的不同引起的。火麻仁中的蛋白质主要由麻仁球蛋白（80%）和白蛋白（20%）组成[18]。Wang 等[19]通过火麻仁的体外模拟消化实验，发现火麻仁蛋白比大豆蛋白更易消化。火麻仁含有大量油脂，ALHS 的脂肪含量高达 53.06%，GBHS、YDHS 以及 HBHS 的油脂含量均都超过 50%，HSHS 的脂肪含量最低，但也接近其质量的一半，魏月媛等[20]研究结果与本文一致。Callaway[21]研究发现，火麻油中含有大量的亚油酸和亚麻酸，其不饱和脂肪酸比例远高于大豆、亚麻籽以及葵花籽等；而且，火麻油中 n6/n3 脂肪酸的比例十分接近人体营养的需求，被认为是优质油脂。YDHS 的总糖含量最高（4.98 g/100 g），GBHS 的总糖含量最低（2.72 g/100 g）。不同产地的火麻仁的灰分差异显著（p<0.05），由高到低依次为 GTHS>ALHS>HSHS>HBHS>GBHS>YDHS，可能是由于产地气候和地理环境的不同，使矿物质积累量有差异。

2.3 不同产地火麻仁氨基酸含量

蛋白质的营养价值不仅取决于其总含量的高低，还受氨基酸的构成和含量影响。不同产地火麻仁的氨基酸组成及其含量如表 3 所示。由表可知：在 6 个产地的火麻仁中均检测到 17 种氨基酸，种类齐全，含量丰富。不同产地火麻仁的氨基酸总量（TAA）存在一定差异，其范围在 25.41~28.92 g/100 g 之间，YDHS 的 TAA 最高，其次为 HSHS，GTHS 的 TAA 最低，与蛋白含量检测结果相同。6 个产地火麻仁的必需氨基酸（EAA）含量由高到低依次为 YDHS>HSHS>GBHS>HBHS>ALHS>GTHS，其中 YDHS 的 EAA 比例最高，为 30.19%，ALHS 的 EAA 比例最低，为 29.85%。另外，从表 3 可知，火麻仁中谷氨酸含量最高（5.16~5.85 g/100 g），还含有大量的精氨酸和天冬氨酸，与 Wang 等[19]研究结果一致。谷氨酸作为大脑皮质和神经中枢的重要补充剂，可以延缓能量物质消耗，从而发挥促进运动疲劳恢复的作用[22]，而天冬氨酸在人体内可以转化为谷氨酸，这可能与火麻仁的抗疲劳作用[23]有关。另外，精氨酸对儿童的生长和发育具有促进作用，火麻仁可以作为补充精氨酸的食物来源。

2.4 不同产地火麻仁矿物元素含量

火麻仁中含有多种人体必需矿物元素，P、K、Mg、Ca 和 Na 是其含量较高的常量元素，Fe、Zn、Mn 和 Cu 是其主要的微量元素[21,24]。对 6 个产地火麻仁的矿质元素含量进行测定，结果表明各常量元素含量在不同产地之间差异显著（p<0.05），平均含量由高到低依次为 P>K>Mg>Ca>Na。6 个产地火麻仁均含有丰富的 P（1050.51~1260.09 mg/100 g）和 K（837.71~1020.15 mg/100 g），可以作为补充 P 和 K 的食源；除了 Ca 含量（67.54 mg/100 g）以 HBHS 最高外，其他常量元素含量均以 GTHS 最高。4 种微量元素在火麻仁中平均含量由高到低依次为 Fe>Zn>Mn>Cu；HBHS 的 Fe（9.83 mg/100 g）和 Cu（1.12 mg/100 g）含量最高，ALHS 的 Zn 含量（5.94 mg/100 g）最高，YDHS 的 Mn 含量（6.02 mg/100 g）最高，GTHS 的微量元素在六个产地里含量最低。

表 2 不同产地火麻仁主要营养成分含量（g/100 g）

Table 2 The content of main nutritional components hempseed from different growing regions

品种	水分	蛋白质	脂肪	总糖	灰分
ALHS	5.72±0.05^{e}	13.41±0.24^{e}	53.06±0.06^{a}	2.97±0.02^{d}	5.14±0.34^{b}
GBHS	6.04±0.12^{d}	15.33±0.14^{c}	50.64±0.22^{c}	2.72±0.01^{e}	3.99±0.02^{e}
GTHS	6.31±0.14^{a}	14.47±0.13^{d}	48.06±0.12^{d}	3.04±0.02^{c}	5.26±0.11^{a}
HBHS	6.34±0.12^{a}	11.15±0.27^{f}	51.11±0.13^{b}	3.05±0.01^{c}	4.11±0.23^{d}
HSHS	6.21±0.09^{b}	15.68±0.13^{b}	47.40±0.01^{e}	3.93±0.01^{b}	4.86±0.02^{c}
YDHS	6.14±0.07^{c}	19.18±0.44^{a}	50.75±0.13^{c}	4.98±0.02^{a}	3.37±0.01^{f}

表 3 不同产地火麻仁的氨基酸含量（g/100 g）

Table 3 Amino acid contents of hempseed from different growing regions

氨基酸	ALHS	GBHS	GTHS	HBHS	HSHS	YDHS
Asp	3.00±0.10^{b}	3.01±0.12^{b}	2.69±0.10^{c}	2.98±0.14^{b}	3.09±0.13^{a}	3.08±0.09^{a}
Thr*	0.98±0.02^{b}	0.98±0.02^{b}	0.90±0.00^{c}	0.97±0.03^{b}	1.01±0.03^{a}	1.02±0.04^{a}
Ser	1.49±0.08^{ab}	1.48±0.04^{b}	1.35±0.06^{c}	1.47±0.04^{b}	1.52±0.05^{a}	1.50±0.07^{a}
Glu	5.67±0.15^{b}	5.73±0.18^{b}	5.16±0.18^{c}	5.64±0.20^{b}	5.85±0.14^{a}	5.81±0.16^{a}
Gly	1.32±0.03^{ab}	1.31±0.04^{b}	1.20±0.04^{c}	1.31±0.03^{b}	1.34±0.04^{a}	1.36±0.05^{a}
Ala	1.23±0.04^{b}	1.22±0.04^{b}	1.16±0.03^{c}	1.22±0.03^{b}	1.26±0.04^{ab}	1.29±0.02^{a}
Cys	0.18±0.00^{a}	0.18±0.01^{a}	0.16±0.00^{ab}	0.18±0.00^{a}	0.17±0.01^{b}	0.18±0.01^{a}
Val*	1.38±0.06^{b}	1.39±0.07^{b}	1.26±0.04^{c}	1.38±0.05^{b}	1.40±0.06^{ab}	1.45±0.08^{a}
Met*	0.56±0.01^{a}	0.58±0.03^{a}	0.48±0.02^{b}	0.57±0.01^{a}	0.56±0.02^{a}	0.58±0.02^{a}
Ile*	1.18±0.02^{b}	1.20±0.06^{ab}	1.06±0.03^{c}	1.19±0.07^{ab}	1.22±0.09^{a}	1.23±0.01^{a}
Leu*	2.04±0.08^{b}	2.05±0.05^{b}	1.84±0.01^{c}	2.04±0.09^{b}	2.08±0.05^{ab}	2.11±0.06^{a}
Tyr	0.98±0.04^{a}	1.00±0.02^{a}	0.86±0.01^{c}	0.97±0.02^{b}	0.99±0.02^{a}	0.98±0.04^{a}
Phe*	1.28±0.01^{ab}	1.28±0.03^{ab}	1.15±0.03^{c}	1.27±0.01^{b}	1.30±0.03^{a}	1.32±0.04^{a}
Lys*	0.96±0.01^{ab}	0.95±0.02^{ab}	0.94±0.02^{b}	0.99±0.03^{a}	1.01±0.05^{a}	1.02±0.01^{a}
His	0.78±0.00^{a}	0.78±0.01^{a}	0.71±0.01^{b}	0.77±0.02^{ab}	0.77±0.01^{ab}	0.80±0.00^{a}
Arg	4.03±0.07^{ab}	4.08±0.09^{a}	3.56±0.08^{c}	3.98±0.10^{b}	4.08±0.03^{a}	4.09±0.12^{a}
Pro	1.00±0.02^{b}	0.99±0.03^{b}	0.95±0.02^{b}	1.00±0.01^{b}	1.05±0.02^{a}	1.09±0.03^{a}
EAA	8.38	8.43	7.62	8.41	8.59	8.73
TAA	28.07	28.20	25.41	27.94	28.71	28.92
EAA/%	29.85	29.90	29.99	30.12	29.91	30.19

注：*表示必需氨基酸；TAA 表示氨基酸总量；EAA 表示必需氨基酸总量，Trp 除外；EAA（%）表示必需氨基酸总含量占氨基酸总量的百分比。同一行中字母不同表示数值存在显著差异（p<0.05）。

表 4 不同产地火麻仁矿物元素含量（mg/100 g）

Table 4 Mineral element contents of hempseed from different growing regions

样品	P	K	Mg	Ca	Na	Fe	Zn	Mn	Cu
ALHS	1050.51±2.01^{f}	837.71±9.44^{e}	547.00±11.27^{d}	38.96±1.45^{c}	17.78±0.62^{b}	8.05±0.29^{b}	5.94±0.04^{a}	4.74±0.02^{b}	0.95±0.02^{b}
GBHS	1110.12±13.56^{e}	842.09±2.09^{e}	573.22±13.81^{c}	32.97±1.72^{d}	15.31±0.88^{c}	7.85±0.32^{c}	5.18±0.08^{b}	4.57±0.02^{bc}	0.87±0.00^{bc}
GTHS	1260.09±15.71^{a}	1020.15±2.09^{a}	656.77±9.08^{a}	34.84±1.21^{d}	24.72±0.53^{a}	6.93±0.24^{e}	4.15±0.08^{d}	4.01±0.03^{c}	0.85±0.02^{c}
HBHS	1230.77±11.29^{b}	888.36±7.90^{d}	615.18±13.58^{b}	67.54±1.30^{a}	14.40±0.39^{d}	9.83±0.27^{a}	3.05±0.06^{e}	4.99±0.03^{b}	1.12±0.01^{a}
HSHS	1200.65±19.66^{c}	966.33±3.35^{b}	587.29±12.91^{c}	30.72±1.08^{e}	15.61±0.41^{c}	7.39±0.36^{d}	5.02±0.07^{c}	3.16±0.01^{d}	0.81±0.00^{c}
YDHS	1160.62±21.09^{d}	920.10±7.81^{c}	533.81±10.42^{d}	44.13±1.03^{b}	14.92±0.67^{cd}	7.29±0.37^{d}	5.25±0.07^{b}	6.02±0.02^{a}	1.01±0.01^{b}

2.5 不同产地火麻仁酚类物质含量

2.5.1 不同产地火麻仁总酚含量

近年来，酚类物质由于其天然的抗氧化作用越来越受到人们的关注。如图 2 所示，6 个产地火麻仁中总酚含量在 1.71~2.57 mg GAE/g 之间。YDHS 总酚含量（2.57 mg GAE/g）最高，GBHS 含量（1.71 mg GAE/g）最低。Stefania 等[25]研究了火麻仁中总酚含量，结果显示其总酚含量为 2.21 mg GAE/g，而且发芽有助于总酚含量的提高。Chen 等[7]用超声提取广西和云南火麻仁的活性物质，研究发现广西火麻仁的总酚含量为 1.36 mg GAE/g，云南火麻仁的总酚含量为 1.51 mg GAE/g。各文献报道的总酚含量存在一定的差异，可能主要是因为样品以及样品处理方法不同而引起的。此外，许春芳等[26]研究发现，柚皮苷是火麻油中含量最多的酚类物质，约占总酚含量的 30%~50%，其次为表儿茶素和对羟基苯甲酸。

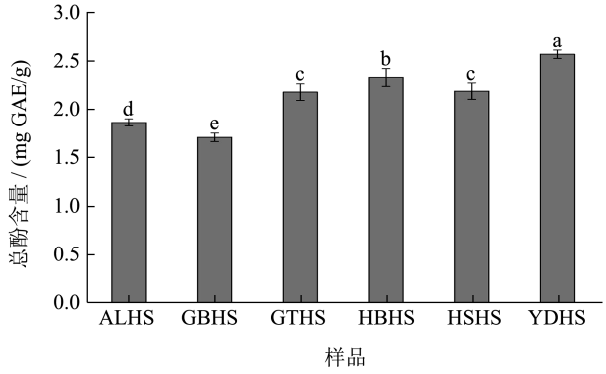

图 2 不同产地火麻仁总酚含量

Fig.2 Total phenolic content of hempseed from different growing regions

注：不同字母表示数值存在显著差异（p<0.05），图 3、4 同。

2.5.2 不同产地火麻仁总黄酮含量

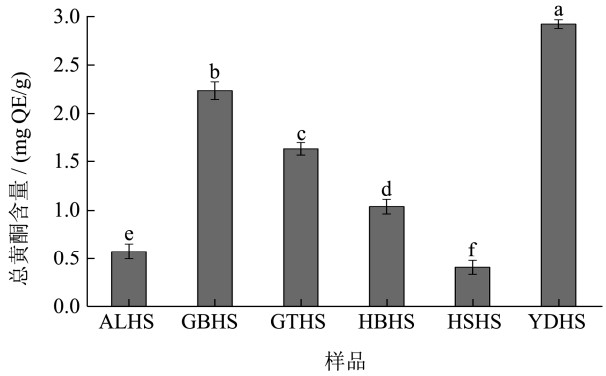

图 3 不同产地火麻仁总黄酮含量

Fig.3 Total flavonoid content of hempseed from different growing regions

黄酮类化合物是由多酚和吡喃环组成的苯并-c-吡喃酮衍生物[13]，作为植物中的次级代谢产物广泛分布于水果、蔬菜和谷物中。本研究对不同产地火麻仁的总黄酮含量进行测定，结果如图3所示，YDHS和GBHS的总黄酮含量明显高于另外四个产地，分别为2.92 mg QE/g和2.24 mg QE/g，HSHS的总黄酮含量最低，仅为0.41 mg QE/g。YDHS的总黄酮含量是HSHS含量的7倍，是ALHS含量的5倍。许春芳等[26]在研究中发现八个产地（云南、秦巴、广西、河北、四川、内蒙古、辽宁、浙江）火麻油中的总黄酮含量在0.07~0.52 mg NA/g。这些数据表明，火麻仁的产地对其总黄酮含量存在显著影响，且不同的部位和结果表示方法也会造成检测含量的不同。（注：NA指柚皮苷）

2.6 不同产地火麻仁抗氧化活性分析

DPPH 是一种很稳定的自由基，当有抗氧化剂（供氢体）存在时，DPPH 的孤对电子被配对，会使溶液从紫色向无色转变[27]，因此常用 DPPH 自由基清除能力来检测物质的抗氧化能力。由图 4 可知，火麻仁的 DPPH 自由基清除能力受地理位置的影响，YDHS 对 DPPH 自由基清除能力最强（1.92 μmol TE/g），GBHS 清除能力最弱（1.29 μmol TE/g）。研究结果表明，不同产地火麻仁提取物的 DPPH 自由基清除能力不同，在 1.29~1.92 μmol TE/g 范围内波动，对 DPPH 自由基的清除能力从大到小依次为：YDHS>ALHS>HSHS>GTHS>HBHS>GBHS。FRAP 法是以抗氧化物的还原能力为测定依据的检测其抗氧化能力的方法[28]。由图 4 可知，不同产地火麻仁提取物的 FRAP 值呈显著性差异（p<0.05），FRAP 值在 4.69~8.89 μmol FE/g 之间，其铁离子还原能力从大到小依次为 YDHS>HSHS>ALHS>HBHS>GTHS>GBHS。许春芳等[26]研究火麻油体外抗氧化活性发现，其抗氧化活性主要与山奈酚-3-O-葡萄糖苷、柚皮素、柚皮苷、黄豆苷元及对香豆酸有关，而火麻仁的主要成分为油脂，因此以上成分可能也是火麻仁发挥抗氧化作用的主要原因。

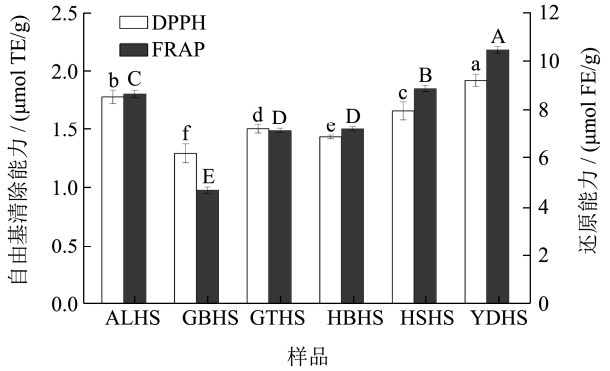

图 4 不同产地火麻仁提取物的抗氧化活性

Fig.4 Antioxidant abilities of hempseed extracts from different producing regions

2.7 火麻仁中营养成分及不同抗氧化活性之间的相关性分析

为了探究火麻仁的主要抗氧化成分，研究了两种抗氧化试验结果与各营养成分之间的相关性。相关性分析发现，DPPH 和总酚之间呈现显著性相关（p<0.05），酚类含量高的火麻仁其 DPPH 自由基清除能力强。这一研究结果与 Zhao 等[29]和 Ilaiyaraja 等[30]所得结果一致。有研究表明黄酮类化合物是有效的抗氧化成分[31]，但是从本研究的相关性分析结果来看，总黄酮的含量与 DPPH 和 FRAP 之间均无显著相关性（p>0.05）。由表 5 可知，火麻仁的铁离子还原能力与总酚含量呈极显著相关（p<0.01）。赵鑫丹等[32]研究核桃提取物的抗氧化活性也有相同的发现，FRAP 值与总酚含量呈显著相关。从表 5 还可以看出，DPPH 自

由基清除能力与 FRAP 之间呈极显著相关（p<0.01）。因为 DPPH 自由基清除反应和铁离子还原实验属于单电子转移反应，都是反映样品对高价态离子的还原能力[28]。

表 5 火麻仁中营养成分及抗氧化活性之间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of nutritional componentsand antioxidant activity of hempseed

项目	脂肪	蛋白质	总糖	灰分	总酚	总黄酮	DPPH	FRAP
水分	-0.682	-0.062	0.163	-0.170	0.579	0.147	-0.344	-0.093
脂肪		-0.231	-0.191	-0.257	-0.244	0.078	0.182	-0.050
蛋白质			0.789	-0.462	0.331	0.656	0.544	0.236
总糖				-0.515	0.777	0.402	0.767	0.662
灰分					-0.400	-0.734	-0.088	-0.103
总酚						0.268	0.852*	0.936**
总黄酮							0.451	0.249
DPPH								0.956**

注：*，说明在 0.05 水平（双尾）上相关性显著；**，说明在 0.01 水平（双尾）上相关性显著。

3 结论

由于生长环境的不同，不同产地火麻仁外观、物理特性及主要营养成分均存在差异。随着产地纬度的增加，外壳颜色逐渐变浅，总体呈棕灰色。YDHS 表面较为光滑，颗粒饱满，质量最大；GBHS 出仁率最高，GTHS 出仁率最低，这可能与籽粒的饱满程度及外壳的厚度有关。火麻仁中蛋白质含量差异显著（p<0.05），YDHS 含量最高，HBHS 含量最低；脂肪是火麻仁的最主要的成分，除了 HSHS 和 GTHS，其他产地火麻仁的脂肪含量均超高 50%；YDHS 的总糖含量在 6 个产地中最高；各产地火麻仁均含有丰富 P、K、Mg 等矿物元素以及种类齐全的氨基酸，6 个产地火麻仁的必需氨基酸比例均高于大豆。总酚含量由高到低依次为 YDHS、HBHS、HSHS、GTHS、ALHS、GBHS，总黄酮含量由高到低依次为 YDHS、GBHS、GTHS、HBHS、ALHS、HSHS。抗氧化实验研究发现，YDHS 的 DPPH 自由基清除率及铁离子还原能力最强，GBHS 最弱。相关性分析表明，DPPH 及 FRAP 和总酚之间呈显著性相关（p<0.05），而与总黄酮之间无显著相关性（p>0.05）。总的来说，YDHS 的蛋白质、活性物质丰富及其抗氧化活性较高，一方面可能与云南地区的地势高、雨水阳光充足等种植环境有关，另一方面可能是该品种（“云麻一号”）是云南省农科院育种筛选出高蛋白、高脂肪品种的原因。因此，开发不同类型火麻仁产品选择原料时，可以根据产品营养需求选择适宜产地，如开发保健功能油脂可以选择 ALHS，开发植物蛋白饮料及抗氧化功能食品可以选择 YDHS。

参考文献

[1] Pringle H. Ice age communities may be earliest known net hunters [J]. Science, 1997, 277(5330): 1203-1204

[2] Yan X, Tang J, Passos C, et al. Characterization of lignanamides from hemp (*Cannabis sativa* L.) seed and their antioxidant and acetylcholinesterase inhibitory activities [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 63(49): 10611-10619

[3] 梁静君,马瑞,马良俊,等.秦巴火麻经济前景展望[J].山西农经,2019,25(24):109-111

LIANG Jing-jun, MA Rui, MA Liang-jun, et al. Economic outlook of Qinba *Cannabis sativa* L [J]. Shanxi Agricultural Economy, 2019, 25(24): 109-111

[4] 吴发明.火麻仁种质资源初步研究[D].成都:成都中医药大学,2010

WU Fa-ming. Preliminary research of the germplasm resource of fructus *Cannabis sativa* L [D]. Chengdu: Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2010

[5] 任汉阳,张瑜,刘红雨,等.火麻仁研究进展[J].河南中医,2003,23(11):78-80

REN Han-yang, ZHANG Yu, LIU Hong-yu, et al. Research progress on hempseed (*Cannabis sativa* L.) [J]. Henan Traditional Chinese Madicine, 2003, 23(11): 78-80

[6] Cheng C, Bian Z, Zhu L, et al. Efficacy of a Chinese herbal proprietary medicine (hemp seed pill) for functional constipation [J]. The American Journal of Gastroenterology, 2011, 106(1): 120-129

[7] Chen T, He J, Zhang J, et al. The isolation and identification of two compounds with predominant radical scavenging activity in hempseed (seed of *Cannabis sativa* L.) [J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 1030-1037

[8] Rodriguezleyva D, Pierce G. The cardiac and haemostatic

effects of dietary hempseed [J]. Nutrition & Metabolism, 2010, 7(1): 32-40

[9] Luo Q, Yan X, Bobrovskaya L, et al. Anti-neuroinflammatory effects of grossamide from hemp seed via suppression of TLR-4-mediated NF-κB signaling pathways in lipopolysaccharide-stimulated BV2 microglia cells [J]. Molecular & Cellular Biochemistry, 2017, 428(1): 129-137

[10] 谢集照,林丰,邱莉,等.广西不同产地火麻仁中脂肪和蛋白质成分含量比较研究[J].农业机械,2013,22(20):49-51
XIE Ji-zhao, LIN Feng, QIU Li, et al. Comparative study on the contents of fat and protein in hempseed from different producing areas in Guangxi [J]. Farm Machinery, 2013, 22(20): 49-51

[11] 吴发明,李敏,王道清.火麻仁中脂肪油和蛋白质成分含量比较研究[J].现代中药研究与实践,2011,25(3):68-70
WU Fa-ming, LI Min, WANG Dao-qing. Content determination of fat oil and protein in *Cannabis sativa* L [J]. Chinese Medicine Journal Research Practice, 2011, 25(3): 68-70

[12] 王化东,卫莹芳,郭山山,等.不同产地火麻仁品质评价[J].湖北农业科学,2012,51(17):127-130
WANG Hua-dong, WEI Ying-fang, GUO Shan-shan, et al. Quality evaluation of hemp seed from different habitats [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(17): 127-130

[13] 谭亮,周洛,尕玛确加,等.不同产区青海玉树芜菁中营养成分分析与比较[J].食品工业科技,2018,39(5):307-312
TAN Liang, ZHOU Luo, GAMA Que-jia, et al. Analysis and comparison of nutritional compositions in Yushu turnip (*Brassica rapa* L.) from different producing areas [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 307-312

[14] Yu J, Shangguan Z., Yang X, et al. Effect of drying on the bioactive compounds and antioxidant activity of *Rubus lambertianus* [J]. International Journal of Food Engineering, 2018, 14(2): 227-233

[15] Jia Z, Tang M, Wu J. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals [J]. Food Chemistry, 1999, 64(4): 555-559

[16] Ma Y. Huang H. Characterisation and comparison of phenols, flavonoids and isoflavones of soymilk and their correlations with antioxidant activity [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2015, 49(10): 2290-2298

[17] Benzie I. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76

[18] 林金莺.火麻仁蛋白水解及其抗氧化肽的研究[D].广州:华南理工大学,2010
LIN Jin-ying. The research on protein hydrolysis and the antioxidative peptide derived from hempseed (*Cannabis sativa* L.) [D].Guangzhou: South China University of Technonly, 2010

[19] Wang X, Tang C, Yang X, et al. Characterization, amino acid composition and in vitro digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 11-18

[20] 魏月媛,李理.火麻仁的功效及食用安全性研究进展[J].食品工业,2015,36(7):267-271
WEI Yue-yuan, LI Li. Advance on functional ingredients and safety of hemp seed food [J]. Food Industry, 2015, 36(7): 267-271

[21] Callaway J. Hempseed as a nutritional resource: an overview [J]. Euphytica, 2004, 140(1-2): 65-72

[22] 闫征,郝利民,张黎明,等.3 种不同产地灵芝子实体主要化学成分比较[J].食品科学,2019,40(6):240-246
YAN Zheng, HAO Li-min, ZHANG Li-ming, et al. Comparison of main chemical constituents in *Ganoderma lucidum* fruiting bodies collected from three producing regions [J]. Food Science, 2019, 40(6): 240-246

[23] 李永进,杨睿悦,扈学俸,等.火麻仁蛋白对小鼠抗疲劳和免疫调节功能的初步研究[J].卫生研究,2008,37(2):175-178
LI Yong-jing, YANG Rui-yue, HU Xue-feng, et al. Initial study of hemp seeds protein on antifatigue and the immunomodulation effects in mice [J]. Journal of Hygiene Research, 2008, 37(2): 175-178

[24] 陈聪颖.巴马火麻蛋白饮料的研制及其稳定性研究[D].无锡:江南大学,2012
CHEN Ying-cong. Research on the preparation and stability of Bama hempseed protein beverage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012

[25] Frassinetti S, Moccia E, Caltavuturo L, et al. Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts [J]. Food Chemistry, 2018, 262(8): 56-66

[26] 许春芳,肖俊勇,郑明明,等.火麻籽油中酚类化合物的检测及抗氧化活性研究[J].中国油料作物学报,2018,40(4):585-591
XU Chun-fang, XIAO Jun-yong, ZHENG Ming-ming, et al. Determination of phenolic compounds in hemp seed oil and their antioxidant activities [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(4): 585-591

（下转第 69 页）