

网络出版时间:2015-12-02 14:25 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.01.030
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151202.1425.060.html>

杜仲籽油粕营养成分研究

马 葵^{1a}, 谢马辉², 蔡雪刁^{1b}, 高锦明^{3a}, 姚欢欢⁴, 张康健^{3b}

(1 陕西师范大学 a 食品工程与营养科学学院, b 化学化工学院, 陕西 西安 710062;

2 西部植物化学国家工程研究中心, 陕西 杨凌 712100;

3 西北农林科技大学 a 理学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100;

4 灵宝汇源金地杜仲产业有限公司, 河南 灵宝 472500)

[摘要] 【目的】对杜仲籽油粕的营养成分和功能性成分进行了全面分析, 为其开发利用提供理论依据。【方法】参照国家标准, 采用常规化学分析和仪器分析方法, 对杜仲籽油粕中的营养成分, 包括矿质元素、糖分、脂肪、蛋白质及其氨基酸组成进行了分析; 对其中的功效成分, 包括总黄酮、绿原酸和桃叶珊瑚苷采用分光光度法和高效液相色谱法进行了测定。【结果】杜仲籽油粕中蛋白质、糖分和脂肪的含量分别为 337.50、140.00 和 16.50 g/kg; 钾、钠、钙、铁的含量分别为 11.2、0.014、4.2 和 0.38 g/kg, 具有显著的高蛋白低脂肪、高钾低钠的特性。杜仲籽油粕中维生素 B₁ 和 B₂ 含量分别为 6.30 和 3.18 mg/kg。杜仲籽油粕中含有 17 种氨基酸, 总含量为 214.9 g/kg, 其中必需氨基酸含量为 66.0 g/kg。桃叶珊瑚苷、总黄酮、绿原酸的含量分别为 137.6、0.61 和 1.00 g/kg。【结论】杜仲籽油粕在食品和保健食品及饲料添加剂等的开发利用方面具有较高的利用价值, 是亟待开发的宝贵资源。

[关键词] 杜仲籽油粕; 营养成分; 桃叶珊瑚苷

[中图分类号] Q949.751.5; S789.7 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2016)01-0206-05

Nutritional constituents in oil meal of *Eucommia ulmoides* seed

MA Zhen^{1a}, XIE Ma-hui², CAI Xue-Diao^{1b}, GAO Jin-ming^{3a},

YAO Huan-huan⁴, ZHANG Kang-jian^{3b}

(1 a College of Food Engineering and Nutritional Science, b School of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2 National Engineering Research Center for Phytochemistry in Western China, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 a College of Sciences, b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4 Huiyuan Jingdi Eucommia Co. Ltd., Lingbao, Henan 472500, China)

Abstract: 【Objective】A complete analysis was carried out on nutritional and functional constituents in oil meal of *Eucommia ulmoides* seed to provide theoretical basis for the use and development of this resource. 【Method】Referring to national standards in China, conventional chemical methods and instrumental analytical methods were adopted to determine the contents of nutritional constituents, including minerals, saccharides, crude fats, proteins, and amino acids. Functional constituents, such as total flavonoids, chlorogenic acid, and aucubin, were measured by spectrophotometry and high performance liquid chromatography (HPLC). 【Result】The contents of proteins, saccharides and crude fats in oil meal of *E. ulmoides* seed were 337.50, 140.00, and 16.50 g/kg, respectively. The contents of potassium, sodium, calcium, and iron were 11.2, 0.014, 4.2, and 0.38 g/kg, respectively, indicating characteristics of high-protein, low-lipids, high-potassium, and low-sodium. The contents of vitamin B₁ and B₂ were 6.30 and 3.18 mg/kg, respective-

[收稿日期] 2014-06-30

[基金项目] 国家自然科学基金—青年科学基金项目(31501405); 陕西省基础研究计划青年人才项目(2015JQ3081)

[作者简介] 马 葵(1986—), 女, 陕西乾县人, 讲师, 博士, 主要从事食品营养研究。E-mail: zhenma@snnu.edu.cn

[通信作者] 张康健(1939—), 男, 陕西兴平人, 教授, 主要从事杜仲植物资源培育与开发利用研究。E-mail: ylzjkj888@163.com

ly. Seventeen amino acids were detected with a total content of 214.9 g/kg, in which the content of essential amino acids was 66.0 g/kg. For functional constituents, the contents of aucubin, total flavonoids, and chlorogenic acid were 137.6, 0.61, and 1.00 g/kg, respectively. 【Conclusion】 The oil meal of *E. ulmoides* seed demonstrated high values for the use and development manifested by its nutritional and functional constituents.

Key words: *Eucommia ulmoides* seed oil meal; nutritional constituent; aucubin

杜仲(*Eucommia ulmoides*)是仅存于我国的第三纪孑遗植物,其皮是传统名贵中药。20 世纪 70 年代以来,为了揭示中药杜仲的药理作用,人们对杜仲的化学成分进行了详细的研究,发现了许多生物活性成分,主要包括木脂素类、苯丙素类、环烯醚萜类、黄酮类和甾体类化合物^[1-4]。随后的研究发现,杜仲叶和皮具有相似的化学成分和药理活性,故从 2005 年开始,杜仲叶和皮一起被收录入中国药典^[5-8]。近年来,由杜仲雌树翅果所产的杜仲籽油引起了人们的重视。研究表明,杜仲籽油除含有一般油脂所具有的脂肪酸外, α -亚麻酸含量极高(约占油质量分数的 51%),药理研究表明,这种富含 α -亚麻酸的杜仲籽油具有降血脂、预防脑血栓、维持大脑和神经功能的作用,可预防癌变和抑制肿瘤细胞转移^[9-12]。2001 年以来,西北农林科技大学率先开发了杜仲籽油^[13-14],该油已被国家批准为新食品原料(卫生部 2009 年第 12 号公告)和保健食品(国食健字 G20120447 号),并面市热销。

据有关资料统计,杜仲分布在中国 20 多个省市、自治区,杜仲林面积达 36 万 hm^2 ,可用于生产杜仲籽的雌株约占 1/2,资源蕴藏量十分丰富^[15]。近几年来,由于对杜仲籽油的深度开发,市场需求量大增,使每年所产生的油粕数量相当可观。但由于缺乏相关研究,杜仲籽油粕至今未被人们所认识和开发利用,大多作为废料舍弃。为此,本研究以杜仲籽油粕为研究对象,参照国家相关标准,采用常规化学分析和仪器分析的方法,对杜仲籽油粕中的营养成分和功能性成分进行系统研究,以期为杜仲籽油粕的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用的杜仲籽均采自河南灵宝汇源金地杜仲产业有限公司闫家驮杜仲果园式标准化管理示范基地。

杜仲籽油粕:杜仲籽脱壳取出种仁,其种仁经连续冷榨、 CO_2 超临界萃取杜仲籽油后剩余的油

粕。

1.2 主要仪器与化学试剂

高效液相色谱仪(Shimadzu LC-2010A),日本岛津公司;紫外可见分光光度计(Unico UV-2000),美国尤尼柯公司;全自动氨基酸分析仪(Hitachi L-8900),日本日立公司;原子吸收分光光度计(Thermo Elemental ICE-3500),美国热电公司;原子荧光光谱仪(APC-1201),北京青天公司;高速冷冻离心机(GL-21M),上海卢湘仪离心机仪器有限公司;全自动定氮仪(Foss Kjeltac 2300),瑞典福斯公司;桃叶珊瑚苷、绿原酸、芦丁、聚酰胺粉(0.6~1.4 mm)等化学试剂均为市售分析纯。

1.3 研究方法

1.3.1 一般营养成分的测定 糖分含量(以还原糖计)测定采用直接滴定法(GB/T 5009.7—2008),蛋白质含量测定采用凯氏定氮法(GB 5009.5—2010),脂肪含量测定采用索氏抽取法(GB/T 14772—2008)。

1.3.2 氨基酸的测定 采用全自动氨基酸分析仪测定。准确称取 20 mg 样品放入水解管中,加入 10 mL 6 mol/L HCl,将其放入冷冻机中冷却至固态后取出,再减压封口,将封口后的水解管放在 110 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温干燥箱内水解 22 h,取出冷却。打开水解管,将水解液过滤,用去离子水多次冲洗水解管,将水解液全部转移到 50 mL 容量瓶内,用去离子水定容。吸取滤液 1 mL 于 5 mL 容量瓶内,用真空干燥器在 40~50 $^{\circ}\text{C}$ 干燥,残留物用 1~2 mL 水溶解,再干燥,反复进行 2 次,最后蒸干,用 1 mL 0.02 mol/L HCl 溶解,最后于全自动氨基酸分析仪上测定含量。

1.3.3 维生素 B 的测定 维生素 B_1 和 B_2 采用高效液相色谱法测定(GB 5413.11—2010, GB 5413.12—2010)。

1.3.4 矿质元素的测定 采用原子吸收分光光度法^[16]。

1.3.5 桃叶珊瑚苷的测定 取杜仲籽油粕样品 30.01 g,加入无水乙醇 150 mL,在 45 $^{\circ}\text{C}$ 条件下提取 3 h,重复提取 3 次,合并滤液,用旋转蒸发仪(30 $^{\circ}\text{C}$ 水浴)蒸干溶剂后,再在真空(真空干燥箱温度 40

℃)条件下干燥,称量,得到粗品 6.37 g。

称取粗品 0.11 g,用吸量管吸取 4 mL 色谱纯甲醇配制成溶液,再取 0.1 mL 该溶液稀释到 0.5 mL,通过 HPLC 测定桃叶珊瑚苷含量。色谱条件:色谱柱 Wondasil C₁₈ (5 μm, 4.6 mm×150 mm),柱温 35 ℃;流动相:V(甲醇):V(水)=20:80;检测波长 206 nm;流速 0.5 mL/min。

1.3.6 总黄酮的测定 采用我国卫生部《保健食品检验与评价技术规范》中保健食品总黄酮的测定方法(2003 版)^[17]。称取 2 g 试样,加乙醇定容至 25 mL,摇匀后,放置。吸取试样上清液 1.0 mL 于蒸发皿中,加 1 g 聚酰胺粉吸附,于水浴上挥去乙醇,然后转入层析柱。先用 20 mL 苯洗,苯液弃去,然后用甲醇洗脱黄酮,定容至 25 mL,于 360 nm 波长测定吸收值。同时以芦丁为标准品,测定标准曲线,求回归方程,计算试样中总黄酮含量。

1.3.7 绿原酸的测定 参照国家标准(GB/T 22250—2008),精确称取试样 0.1 g 于容量瓶中,用体积分数 50%甲醇定容至 50 mL,然后进行 HPLC 分析。色谱条件:色谱柱 Shim-park C₁₈ (5 μm, 4.6 mm×150 mm);紫外检测器检测波长 240 nm;流动相:V(甲醇):V(水):V(冰乙酸)=24:75:1。流速 1 mL/min。柱温为室温。

2 结果与分析

2.1 杜仲籽油粕中一般营养成分含量

经测定,杜仲籽油粕中蛋白质、糖分和脂肪的含量分别为 337.50,140.00 和 16.50 g/kg。表明蛋白质含量非常丰富,约是中国 40 种蜜源植物花粉平均值(229.00 g/kg)的 1.5 倍^[18],糖分含量低,脂肪含量很少,这是由于杜仲籽仁经连续冷榨、CO₂ 超临界萃取后,脂肪所剩无几所致。由此可见,杜仲籽油粕高蛋白低脂肪的特点非常明显。

2.2 杜仲籽油粕的氨基酸组成

从表 1 可以看出,杜仲籽油粕中含有 17 种氨基酸,其中谷氨酸含量最高(43.5 g/kg),比杜仲花粉的谷氨酸含量(22.1 g/kg)高近 2 倍^[18]。其次为天冬氨酸、精氨酸、脯氨酸、亮氨酸、丝氨酸、丙氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、赖氨酸等,均超过或与杜仲花粉含量相近^[18]。花粉是植物的繁殖细胞,含有多 种氨基酸,具有“完全营养素”、“微型营养库”之美称。杜仲籽油粕中氨基酸总量为 214.9 g/kg,比我国 35 种蜜源植物花粉中蛋白质氨基酸总量的平均值(199.0 g/kg)要高^[18],其中人体必需氨基酸总量为 66.0 g/kg,占氨基酸总量的 30.71%。

表 1 杜仲籽油粕中氨基酸种类及含量

Table 1 Contents of amino acids in oil meal of *Eucommia ulmoides* seed

氨基酸 Amino acid	含量/(g·kg ⁻¹) Content	氨基酸 Amino acid	含量/(g·kg ⁻¹) Content
天冬氨酸 Asp	21.3	* 异亮氨酸 Ile	9.7
* 苏氨酸 Thr	9.2	* 亮氨酸 Leu	15.1
丝氨酸 Ser	11.8	酪氨酸 Tyr	3.8
谷氨酸 Glu	43.5	* 苯丙氨酸 Phe	10.2
脯氨酸 Pro	19.3	* 赖氨酸 Lys	9.3
甘氨酸 Gly	11.2	组氨酸 His	3.8
丙氨酸 Ala	11.4	精氨酸 Arg	20.0
胱氨酸 Cys	2.8	必需氨基酸含量	66.0
* 缬氨酸 Val	9.8	Essential amino acid	
* 蛋氨酸 Met	2.7	氨基酸总量 Total amino acid	214.9

注:* 为人体必需氨基酸。下同。

Note: * indicates essential amino acids. The same below.

与杜仲其他部位的氨基酸含量相比,杜仲籽油粕的氨基酸(214.9 g/kg)含量比杜仲花粉(193.2 g/kg)要高,比杜仲叶和皮中的含量更高,是杜仲幼龄树叶(125.4 g/kg)的 1.71 倍,是杜仲成龄树叶(75.1 g/kg)的 2.86 倍,是杜仲皮(41.5 g/kg)的 5.18 倍^[18-19]。

一般认为,食物蛋白质的氨基酸组成与人体蛋白质愈接近,该蛋白的营养价值愈高。基于此理论,

世界粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)提出了评价蛋白质营养价值的氨基酸模式^[20]。从表 2 可以看出,杜仲籽油粕蛋白质中必需氨基酸的配比均达到或接近 FAO/WHO 颁发的标准模式值,且异亮氨酸和苯丙氨酸+酪氨酸配比超过 FAO/WHO 颁发的标准模式值,从而说明杜仲籽油粕是一种高含量且优质的蛋白质营养源。

表 2 杜仲籽油粕蛋白质氨基酸中必需氨基酸的配比与 FAO/WHO 推荐配比的比较

Table 2 Comparison of ratios of essential amino acids in oil meal of *Eucommia ulmoides* seed and those recommended by FAO/WHO

氨基酸 Amino acid	杜仲籽油粕必需氨基酸组成配比 Ratio of essential amino acid in oil meal of <i>Eucommia ulmoides</i> seed	FAO/WHO 推荐的配比 Ratio of amino acid recommended by FAO/WHO
* 苏氨酸 Thr	4.28	4.4
* 缬氨酸 Val	4.56	5.0
* 蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	2.56	3.5
* 异亮氨酸 Ile	4.51	4.0
* 亮氨酸 Leu	7.03	7.0
* 苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	6.51	6.0
* 赖氨酸 Lys	4.33	5.5

2.3 杜仲籽油粕中维生素 B 含量

杜仲籽油粕中含有维生素 B₁ 和 B₂, 其中维生素 B₁ (6.30 mg/kg) 的含量相当于燕麦片中的含量 (6.0 mg/kg), 比杜仲花粉 (5.33 mg/kg)^[18] 和小麦粉 (4.6 mg/kg) 的含量高^[21]; 维生素 B₂ (3.18 mg/kg) 的含量相当于鸡蛋 (3.1 mg/kg) 的含量, 比牛奶 (1.3 mg/kg) 和大豆 (2.5 mg/kg) 的含量高^[21]。

维生素 B₁ 和 B₂ 均为人体内所必需的重要维生素类, 是推动体内代谢, 包括糖、脂肪、蛋白质等转化成热量过程中不可缺少的物质。如果缺少维生素 B, 则细胞功能降低, 引起代谢障碍。B 族维生素一般不能在人体内储存, 必须靠每天从食物中摄取。从测定结果可以看出, 杜仲籽油粕是一种很好的补充人体所需的维生素 B₁ 和 B₂ 的潜在食物源。

2.4 杜仲籽油粕中矿质元素含量

对杜仲籽油粕中的矿质元素分析结果表明, 钾、钠、钙、镁、磷、铁、锌、铜和硒的含量分别为 11.2, 1.4×10⁻², 4.2, 2.58, 5.98, 0.38, 4.37×10⁻², 1.54×10⁻² 和 7.9×10⁻⁵ g/kg, 其中钙 (4.2 g/kg) 的含量是牛奶 (1.04 g/kg) 的 4 倍, 是大豆 (1.91 g/kg) 的 2.2 倍^[20]。特别值得一提的是, 杜仲籽油粕中钾含量最高 (11.2 g/kg), 是我国 29 种蜜源植物花粉平均含量 (3.95 g/kg) 的 2.8 倍, 钠的含量很低 (1.4×10⁻² g/kg), 比蜜源植物花粉的平均含量 (0.16 g/kg) 低 91.25%, 呈现出十分典型的高钾低钠的特性。人们每天吃的食物中多发生钠过剩, 而大部分人缺钾。用杜仲籽油粕补充天然钾, 将是取得钠钾平衡, 促进身体健康的好方法。

2.5 杜仲籽油粕中主要次生代谢物含量

测定结果表明, 杜仲籽油粕中桃叶珊瑚苷、绿原酸、黄酮等天然活性物质的含量分别为 137.6, 0.61 和 1.00 g/kg, 其中桃叶珊瑚苷的含量极高, 是杜仲叶中含量 (13.43 g/kg) 的 10.24 倍^[22]。桃叶珊瑚

苷具有明显的保肝活性, 能明显抑制乙型肝炎病毒 DNA 的复制, 能激活胶原蛋白合成, 是杜仲叶中抗衰老的主要次生代谢物之一。桃叶珊瑚苷还具有抗菌作用和泻下作用, 能润肠通便, 亦有加快尿酸转移和排出的作用^[17]。

3 结 论

从本研究可以看出, 杜仲籽油粕的营养全面且丰富, 并且具有显著的高蛋白低脂肪、高钾低钠的特性。杜仲籽油粕中还含有桃叶珊瑚苷、总黄酮、绿原酸等次生代谢物, 特别是富含桃叶珊瑚苷天然活性物质。以上结果充分显示出杜仲籽油粕中营养的丰富性和特异性。所以, 杜仲籽油粕在食品、保健食品及饲料添加剂等的开发利用方面具有较高的价值, 是亟待开发的宝贵资源。

[参考文献]

[1] Sih C J, Ravikumar P R, Huang F C, et al. Isolation and synthesis of pinoresinol diglucoside, a major antihypertensive principle of Tu-Chung [J]. Journal of American Chemical Society, 1976, 98(17): 5412-5413.

[2] Deyama T. The constituents of *Eucommia ulmoides* Oliv. I, isolation of (+)-medioresinal di-O-β-D-glucopyranoside [J]. Chemical and Pharmaceutial Bullitin, 1983, 31(9): 2993-2997.

[3] 尉 芹, 马希汉, 张康健. 杜仲化学成分研究 [J]. 西北林学院学报, 1995, 10(4): 88-93.

Wei Q, Ma X H, Zhang K J. Chemical constituents of *Eucommia ulmoides* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1995, 10(4): 88-93. (in Chinese)

[4] 尉 芹, 王冬梅, 马希汉, 等. 杜仲叶总黄酮含量测定方法研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(5): 119-123.

Wei Q, Wang D M, Ma X H, et al. A study on the measurement of flavonoids in the leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2001, 29(5): 119-123. (in Chinese)

[5] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部) [M]. 北京: 化

- 学工业出版社,2005:114.
- National Pharmacopia Committee. Pharmacopia of China(Part one) [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2005:114. (in Chinese)
- [6] Hirataa T,Kobayashia T,Wadaa A,et al. Anti-obesity compounds in green leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters,2011,21(6):1786-1791.
- [7] Jin X,Amitania K,Zamamia Y,et al. Ameliorative effect of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves extract (ELE) on insulin resistance and abnormal perivascular innervation in fructose-drinking rats [J]. Journal of Ethnopharmacology,2010,128:672-678.
- [8] 袁天翔,方莲花,吕 扬,等. 杜仲叶的药理作用研究进展 [J]. 中国中药杂志,2013,38(6):781-785.
- Yuan T Y,Fang L H,Lü Y,et al. Advance in study on pharmacological effect of *Eucommiae Folium* [J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica,2013,38(6):781-785. (in Chinese)
- [9] 董娟娥,马柏林,张康健,等. 杜仲籽油中 α -亚麻酸的含量及其生理功能 [J]. 西北林学院学报,2002,17(2):73-75.
- Dong J E,Ma B L,Zhang K J,et al. Content of α -linolenic acid in the seed oil of *Eucommia ulmoides* and its physiological functions [J]. Journal of Northwest Forestry University,2002,17(2):73-75. (in Chinese)
- [10] 赵德义,徐爱遇,张博勇,等. 杜仲籽油与紫苏籽脂肪酸组成的比较研究 [J]. 西北植物学报,2005,25(1):191-193.
- Zhao D Y,Xu A X,Zhang B Y,et al. Comparison of fatty acids in the seed oils of *Eucommia* and *Perilla* seed oil [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2005,25(1):191-193. (in Chinese)
- [11] 郭美丽,周燕平,冯 喧. 杜仲籽油辅助降血脂作用实验研究 [J]. 中国预防医学杂志,2008,9(7):677-678.
- Guo M L,Zhou Y P,Feng X. Hypolipidemic effect of *Eucommia ulmoides* seed oil [J]. China Preventive Medicine,2008,9(7):677-678. (in Chinese)
- [12] 郭美丽,周燕平,何海健,等. 杜仲籽油毒理学安全性评价 [J]. 毒理学杂志,2008,22(3):248-249.
- Guo M L,Zhou Y P,He H J,et al. Toxicology evaluation on *Eucommia ulmoides* seed oil [J]. Journal of Toxicology,2008,22(3):248-249. (in Chinese)
- [13] 王 蓝,张康健,梁淑芳,等. 杜仲油及以杜仲油为原料制取的 α -亚麻酸产品:中国,ZL03114516. 7 [P]. 2009-03-04.
- Wang L,Zhang K J,Liang S F,et al. Preparation of the oil and α -linolenic acid products from *Eucommia ulmoides* seed;China,ZL03114516. 7 [P]. 2009-03-04. (in Chinese)
- [14] 张康健,王 蓝,马柏林. 一种从杜仲种子中连续提取杜仲油和桃叶珊瑚甙的方法:中国,ZL01128744. 6 [P]. 2005-11-16.
- Zhang K J,Wang L,Ma B L. A method to successively extract aucubin from *E. ulmoides* seed;China,ZL01128744. 6 [P]. 2005-11-16. (in Chinese)
- [15] 张康健,王 蓝,马柏林,等. 中国杜仲次生代谢物 [M]. 北京:科学出版社,2002:37-160.
- Zhang K J,Wang L,Ma B L,et al. Metabolites of *Eucommia ulmoides* in China [M]. Beijing:Science Press,2002:37-160. (in Chinese)
- [16] 段 敏,关勤农,康靖全,等. 杜仲雄花中矿质元素含量分析与评价 [J]. 西北林学院学报,2009,24(5):129-131.
- Duan M,Guan Q N,Kang J Q,et al. Minerals in male flower of *Eucommia ulmoides* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(5):129-131. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国卫生部. 保健食品检验与评价技术规范 [S]. 北京:中华人民共和国卫生部,2003:308.
- The Ministry of Health of the People's Republic of China. Healthy food inspection and evaluation of technical specifications [S]. Beijing:The Ministry of Health of the People's Republic of China,2003:308. (in Chinese)
- [18] 张康健,马希汉. 杜仲次生代谢物与人类健康 [M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2013:123-129.
- Zhang K J,Ma X H. Metabolites of *Eucummia ulmoides* and human health [M]. Yangling,Shaanxi:Press of Northwest A&F University,2013:123-129. (in Chinese)
- [19] 赵德义,马仁萍,张鞍灵,等. 花期冻害对杜仲花粉营养成分的影响 [J]. 生态学报,2009,29(11):5936-5941.
- Zhao D Y,Ma R P,Zhang A L,et al. Effects of frozen injury on the nutritional constituents of the male flower pollen of *Eucommia ulmoides* [J]. Journal of Ecology,2009,29(11):5936-5941. (in Chinese)
- [20] 朱圣陶,吴 坤. 蛋白质营养价值评价:氨基酸比值系数法 [J]. 营养学报,1988,10(2):187-190.
- Zhu S T,Wu K. Nutritional evaluation of protein:Ratio coefficient to amino acid [J]. Acta Nutrimenta Sinica,1988,10(2):187-190. (in Chinese)
- [21] 王银瑞,胡 军,解柱华. 食品营养学 [M]. 西安:陕西科学技术出版社,1992:83-84.
- Wang Y R,Hu J,Xie Z H. Food nutriology [M]. Xi'an:Shaanxi Sci-Technological Press,1992:83-84. (in Chinese)
- [22] 张康健,董娟娥,马柏林,等. 杜仲次生代谢物部位差异性研究 [J]. 林业科学,2002,38(6):12-16.
- Zhang K J,Dong J E,Ma B L,et al. Differences in metabolites of *Eucommia ulmoides* in different organs [J]. Scientia Silvae Sinicae,2002,38(6):12-16. (in Chinese)