

火麻蛋白肽体内降血压功效研究

卫萍^{1,2}, 刘国明^{2,3}, 韦珍¹, 邓中霖¹

(1. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 南宁 530007; 2. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 南宁 530007; 3. 广西壮族自治区农业科学院, 南宁 530007)

摘要:旨在为火麻蛋白作为降血压功能因子提供基础理论依据, 以火麻仁为原料, 采用碱溶酸沉法制备火麻蛋白, 再通过分步酶解法制备火麻蛋白肽, 以火麻蛋白肽为原料进行动物实验探究其体内降血压功效。将大鼠分为正常对照组(Wistar 雄性大鼠)、阳性组[卡托普利 20 mg/kg, 雄性自发性高血压大鼠(SHR)]、火麻蛋白肽中剂量组(750 mg/kg, 雄性 SHR)和火麻蛋白肽大剂量组(1 500 mg/kg, 雄性 SHR), 研究短期给药(单日 1 次)和长期给药(连续 21 d)对大鼠的尾动脉收缩压(SBP)、心律和体质量的影响, 并对火麻蛋白肽的游离氨基酸组成进行分析。结果表明:卡托普利和火麻蛋白肽干预后, 单日给药后 1 h 及连续给药 7 d 后均可显著降低 SHR 的收缩压, 单日短期给药药效可持续 5 h, 长期给药 21 d 还有药效, 且火麻蛋白肽大、中剂量组与阳性组相比, 降压效果未见有显著差异($p > 0.05$); 短期给药和长期给药对 SHR 心率均有一定影响, 而长期给药对 SHR 体质量没有显著影响($p > 0.05$); 火麻蛋白肽中与其发挥降血压功效相关的疏水性氨基酸占比高达 31.91%, 此外, 部分芳香族氨基酸(苯丙氨酸)、脂肪族氨基酸(亮氨酸、缬氨酸)以及碱性氨基酸(精氨酸和赖氨酸)含量也较高。综上, 火麻蛋白肽在 SHR 体内具有一定的降血压功效, 具有开发成新型降血压功能食品成分的潜力。

关键词:火麻蛋白; 火麻蛋白肽; SHR; 降血压; 心率; 体质量; 长效; 短效

中图分类号: TS229; TS218 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2025)04-0040-06

Hypotensive effect *in vivo* of hemp protein peptides

WEI Ping^{1,2}, LIU Guoming^{2,3}, WEI Zhen¹, DENG Zhonglin¹

(1. Agro-food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning 530007, China; 3. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the use of hemp seed protein as a functional factor for lowering blood pressure, hemp seed protein was prepared by the alkali-soluble and acid-precipitation method with hemp kernel as materials, hemp protein peptides were prepared through a stepwise enzymatic hydrolysis process, and then hemp protein peptides were used as raw material to explore its hypotensive effect *in vivo* in terms of animal experiments. A normal control group (male Wistar rats), positive control group (captopril 20 mg/kg, male spontaneously hypertensive rats (SHR)), hemp protein peptides medium dose group (750 mg/kg, male SHR) and hemp protein peptides high dose group (1 500 mg/kg, male SHR) were set up to study the effect of short-term (once daily) and long-term (21 d consecutively)

administration on the rat tail artery systolic blood pressure (SBP), heart rate and body weight. The free amino acid composition of hemp protein peptides was analyzed. The results showed that after administration with captopril and hemp protein peptides for 1 h of single day and 7 d of continuous administration, the SBP of the SHR could be

收稿日期: 2024-06-19; 修回日期: 2024-11-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160560); 广西自然科学基金项目(2024GXNSFAA010336, 2016GXNSFBA380167)

作者简介: 卫萍(1986), 女, 副研究员, 硕士, 研究方向为食源性活性肽的制备及构效关系研究(E-mail) weiping@gxaas.net。

significantly reduced, and the hypotensive effect of short-term administration and long-term administration could last for 5 h and 21 d, respectively. There was no significant hypotensive difference between medium/high dose group and captopril group ($p > 0.05$). Short-term and long-term administration both had a certain impact on the heart rate of SHR, while long-term administration did not significantly affect the body weight of SHR ($p > 0.05$). The proportion of hydrophobic amino acids in hemp protein peptides that are related to the effect of lowering blood pressure was as high as 31.91%. In addition, the contents of some aromatic amino acid (Phe), aliphatic amino acid (Leu and Val), basic amino acids (Arg and Lys) were also relatively high. In summary, the hemp protein peptides has a certain hypotensive effect in SHR, and is expected to be a new functional ingredient for lowering blood pressure.

Key words: hemp seed protein; hemp protein peptides; SHR; hypotensive effect; heart rate; body weight; long-acting; short-acting

近年来,高血压发病率呈上升趋势,全球高血压人数已超过10亿人,其中中国高血压患者占比高达23.2%,治疗高血压是全球医学界面临的一项艰巨任务^[1]。目前,卡托普利、赖诺普利等化学合成药物是降低高血压的首选药物,但高血压患者长期服用合成药物会产生各种副作用^[2]。因此,近年来国内外专家致力于在药物治疗的基础上,从天然产物中获取降血压且无毒副作用的功能因子,通过抑制肾素或血管紧张素I转化酶(Angiotensin converting enzyme, ACE)的活性和减缓激肽的破坏来发挥降血压作用^[3]。现已证实上百种天然食物蛋白中存在ACE抑制活性肽片段,包括大豆^[4-5]、小麦胚芽^[6]、玉米^[7]、苦荞麸皮^[8]、米糠^[9]、油菜籽^[10-11]、葵花籽^[12]以及西蓝花蛋白^[13]等,这些活性肽段发挥降血压活性被认为主要与其分子质量大小、氨基酸类型和序列等有关^[14-15]。

大麻(*Cannabis sativa* L. subsp. *sativa*)是桑科(Sankoh)大麻属(*Cannabis*)药食两用植物,主要种植在欧洲各国、中亚各国、菲律宾和中国等地,中国大麻种植面积占世界大麻种植面积的近50%^[16]。在我国大麻主要分布在东北、华北、华东、中南等地区^[17],大麻籽含有丰富的蛋白质,蛋白质含量一般达20%~30%,榨油后的饼中蛋白质含量可高达50%以上,且氨基酸配比合理,是获取生物活性肽的良好植物蛋白资源^[18]。然而目前食用大麻主要用于榨油,榨油后的饼粕大多被直接丢弃或低价售卖,其含有的蛋白质并未被充分利用,造成了大量优质植物蛋白资源的浪费。近年来植物蛋白资源的高效利用成为了全球食品行业关注的焦点^[19],开展大麻蛋白肽的研究符合市场发展需求,同时也将大大提升大麻产业的附加值。

研究表明,大麻蛋白及其活性肽具有抗氧化^[20-21]、降血脂^[22]、抗炎^[23]等生理活性,而对于大麻蛋白肽在降血压方面的研究较少,只有极少数课题组采用单酶(碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶和中性蛋白酶)以及复合酶(胃蛋白酶+胰蛋白酶)酶解大麻蛋白模拟其胃肠消化产物,研究其降血压活性^[24-27]。因此,本课题组在前期采用酶解法制备的具有良好ACE抑制活性的火麻蛋白肽^[28]的基础上,选择高ACE抑制活性组分通过动物实验,探究火麻蛋白肽在机体内的降血压作用,以期为大麻蛋白作为降血压功能因子提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

碱性蛋白酶(20万U/g)、中性蛋白酶(10万U/g),南宁东恒华道生物科技有限责任公司;氢氧化钠、盐酸等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;大麻仁,广西巴马瑶族自治县;卡托普利片,常州制药有限公司(批号16092011);SPF级雄性自发性高血压大鼠(SHR)、Wistar雄性大鼠,鼠龄9周,体质量接近,许可证号SCXK(京)2012-0001,由北京维通利华实验动物技术有限公司提供。

JY6002电子天平,上海良平仪器仪表有限公司;PHS-3C pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;HH-S4数显恒温水浴锅,金坛市万华实验仪器厂;LGJ-18冷冻干燥机,北京松源华兴科技发展有限公司;BP-2010A智能无创血压计(大小鼠专用),北京软隆生物技术有限公司;电子天平,德国赛多利斯集团;大鼠灌胃针。

1.2 实验方法

1.2.1 火麻蛋白肽的制备

参考文献^[28],以大麻仁为原料,采用碱溶酸

沉法制备火麻蛋白,再采用分步酶解法(碱性蛋白酶+中性蛋白酶)制备火麻蛋白肽,酶解结束后灭酶、离心收集上清液,于 -18°C 预冻24 h后进行真空冷冻干燥得到火麻蛋白肽。

1.2.2 动物实验

动物处理与分组:大鼠在动物实验室适应1周后(按每笼5只,于 25°C 环境中每天12 h光循环进行饲养,期间自由进食、饮水),测定基线期(给药前)血压,再分为4组,即正常对照组(NC)、样品中剂量组(T3M)、样品大剂量组(T3L)和阳性组(CA,给药卡托普利),每组5只大鼠,其中NC为Wistar大鼠,T3M、T3L和CA为SHR。

短期给药实验:将灌胃样品溶于纯净水中,阳性组给药剂量为 20 mg/kg ,火麻蛋白肽中剂量组给药量为 750 mg/kg ,火麻蛋白肽大剂量组给药量为 $1\ 500\text{ mg/kg}$,正常对照组灌胃同体积纯净水,分别于给药前和给药后1、3、5 h采用智能无创血压计测定大鼠的尾动脉收缩压(SBP)各3次,同时记录大鼠心律。

长期给药实验:样品配制方法及给药量同短期给药实验,每日上午固定时间(9:00)对大鼠实施灌胃,在给药前和给药7、14、21 d时采用智能无创血压计测定大鼠的SBP各3次,同时记录大鼠心律、体质量。

1.2.3 氨基酸组成分析

按GB 5009.124—2016测定样品的游离氨基酸组成。

1.2.4 数据处理

实验数据采用GraphPad Prism 7.01软件进行分析,结果以“平均值 \pm 标准差”表示,两样本均数的比较用非成对 t 检验(单尾),显著性水平设定为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 短期给药实验

2.1.1 短期给药对大鼠收缩压的影响

短期给药对大鼠收缩压的影响见表1。

表1 短期给药对大鼠收缩压的影响($n=5$)

组别	Table 1 Effect of short-term administration on systolic blood pressure of rats ($n=5$) mmHg			
	基线期	给药后1 h	给药后3 h	给药后5 h
NC	156.50 ± 5.74	156.20 ± 6.54	155.20 ± 7.76	155.50 ± 6.46
CA	$218.30 \pm 1.53^*$	$189.70 \pm 1.35^{* \#}$	$189.50 \pm 2.20^{* \#}$	$188.90 \pm 1.89^{* \#}$
T3M	$217.00 \pm 2.51^*$	$180.90 \pm 17.06^{* \#}$	$188.70 \pm 2.06^{* \#}$	$189.30 \pm 2.37^{* \#}$
T3L	$213.30 \pm 7.32^*$	$188.10 \pm 2.34^{* \#}$	$187.10 \pm 3.44^{* \#}$	$187.50 \pm 4.32^{* \#}$

注: *为与NC比较差异显著($p < 0.05$); #为与基线期比较差异显著($p < 0.05$)。下同

Note: Compared with the NC group, $*p < 0.05$; compared with the baseline, $\#p < 0.05$. The same below

由表1可知,各给药组(CA、T3M和T3L)给药后1、3、5 h SHR的收缩压较基线期均显著降低($p < 0.05$),说明各给药组给药后1 h SHR的收缩压显著降低并持续至5 h,该结果与Girgih等^[24-26]研究的经胃蛋白酶和胰蛋白酶酶解后的火麻蛋白水解物及其不同肽段具有降低SHR收缩压的效果的结果类似,但是灌胃火麻蛋白肽后1、3、5 h SHR的收缩压差异并不显著($p > 0.05$)。另外,各给药组给药后5 h SHR的收缩压仍均显著高于正常对照组(NC)的($p < 0.05$),说明CA、T3M和T3L 3个给药组虽然具有一定的降压效果,但是未能使SHR的收缩压降到正常对照组(NC)的水平。

2.1.2 短期给药对大鼠心率的影响

高血压患者通常会出现心率加快或心律失常的现象,因此心率可有效反映活体交感神经活性及心脏功能状态。本研究通过监测灌胃不同剂量药物后大鼠心率的变化,分析火麻蛋白肽对大鼠心率的影响,结果见图1。

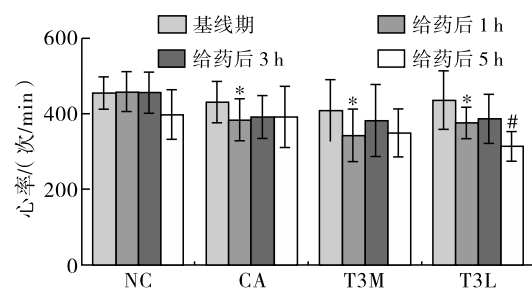


图1 短期给药对大鼠心率的影响($n=5$)

Fig. 1 Effect of short-term administration on heart rate of rats ($n=5$)

由图1可知,与正常对照组(NC)比较,各给药组(CA、T3M和T3L)给药后1 h SHR的心率都显著降低($p < 0.05$),但给药后3 h和5 h SHR的心率较正常对照组(NC)变化不显著($p > 0.05$),说明卡托普利及大、中剂量火麻蛋白肽灌胃后可较快地在SHR体内发挥效应,降低心率,但持续时间较短。此外,火麻蛋白肽大剂量组(T3L)给药后5 h SHR的心率较基线期显著降低($p < 0.05$),说明灌胃大剂量火麻蛋白肽后5 h可明显降低SHR的心率,表明大剂量火麻蛋白肽有效缓解了SHR过快的心率,这与胡学佳^[29]报道的红娘鱼肉降血压肽以及刘飞等^[30]报道的牛乳酪蛋白源ACE抑制肽具有缓解SHR心率过速效果类似。

2.2 长期给药实验

2.2.1 长期给药对大鼠收缩压的影响

长期给药对大鼠收缩压的影响见表2。

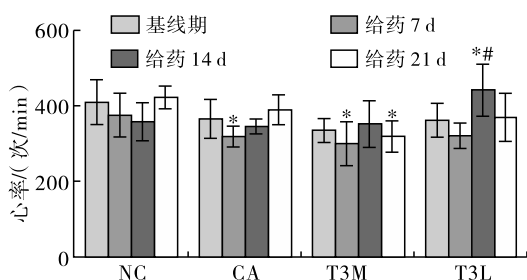
表 2 长期给药对大鼠收缩压的影响 ($n=5$)

组别	基线期	给药 7 d	给药 14 d	给药 21 d
NC	153.80 ± 12.42	159.00 ± 4.66	156.00 ± 7.48	158.70 ± 5.63
CA	214.20 ± 7.33*	187.20 ± 4.49*#	188.40 ± 2.59*#	186.60 ± 7.32*#
T3M	217.90 ± 1.87*	189.40 ± 1.60*#	188.00 ± 3.49*#	189.90 ± 2.46*#
T3L	215.20 ± 3.88*	188.90 ± 2.39*#	188.50 ± 1.96*#	188.80 ± 2.27*#

由表 2 可知,各给药组(CA、T3M 和 T3L)给药 7、14、21 d 后 SHR 的收缩压较基线期均显著降低 ($p < 0.05$),说明卡托普利及火麻蛋白肽干预 7 d 后 SHR 的收缩压显著降低且持续至 21 d。同一给药周期下,各给药组 SHR 的收缩压未见显著差异 ($p > 0.05$),而且各给药组给药 7、14、21 d 后 SHR 的收缩压仍均显著高于正常对照组(NC)的 ($p < 0.05$),说明 CA、T3M 和 T3L 3 个给药组虽然具有一定的降压效果,但是未能使 SHR 的收缩压恢复至正常水平。

2.2.2 长期给药对大鼠心率的影响

长期给药对大鼠心率的影响见图 2。

图 2 长期给药对大鼠心率的影响 ($n=5$)Fig. 2 Effect of long-term administration on heart rate of rats ($n=5$)

由图 2 可知,与正常对照组(NC)比较,连续灌胃卡托普利 7 d、灌胃中剂量火麻蛋白肽 7 d 和 21 d SHR 的心率均显著降低 ($p < 0.05$),灌胃大剂量火麻蛋白肽 14 d SHR 的心率显著上升 ($p < 0.05$),且连续灌胃大剂量火麻蛋白肽 14 d SHR 的心率较基线期显著上升 ($p < 0.05$),而其他给药组对 SHR 心率影响不显著 ($p > 0.05$),表明大剂量火麻蛋白肽连续给药 14 d 后可明显影响 SHR 心率,具体原因有待更深入的研究。但是,本研究提示在火麻蛋白肽的实际应用中,需要考虑摄入剂量和摄入时长的问题。

2.2.3 长期给药对大鼠体质量的影响

长期给药对大鼠体质量的影响见表 3。

由表 3 可知,各给药组(CA、T3M 和 T3L)给药 21 d 后 SHR 体质量较基线期都显著增加 ($p <$

0.05),且与正常对照组(NC)相比无显著差异 ($p > 0.05$),说明灌胃卡托普利及大、中剂量火麻蛋白肽对 SHR 正常生理代谢没有明显影响。

表 3 长期给药对大鼠体质量的影响 ($n=5$)

组别	基线期	给药 7 d	给药 14 d	给药 21 d
NC	219.70 ± 5.42	224.70 ± 10.62	245.70 ± 10.45#	281.60 ± 10.21#
CA	205.30 ± 16.65	206.00 ± 14.80	220.90 ± 18.81	254.50 ± 15.99#
T3M	218.40 ± 6.86	222.00 ± 7.22	240.30 ± 8.82#	263.20 ± 9.50#
T3L	183.10 ± 24.61	192.10 ± 21.67	222.30 ± 15.11#	248.10 ± 12.03#

综上,SHR 单日 5 h 及连续 21 d 内收缩压都超过 160 mmHg,保持稳定,说明本实验所用 SHR 具有良好的高血压,稳定可靠。给予卡托普利和火麻蛋白肽干预后,单日给药后 1 h 及连续给药 7 d 后可显著降低 SHR 的收缩压,且单日给药药效可持续 5 h,连续给药 21 d 还有药效,但卡托普利及火麻蛋白肽单日给药及连续给药均未能使 SHR 的收缩压恢复至正常水平。此外,阳性组(CA)与火麻蛋白肽大、中剂量组(T3L、T3M)相比,降压效果未见有显著差异 ($p > 0.05$)。

2.3 火麻蛋白肽的氨基酸组成

火麻蛋白肽的游离氨基酸组成如表 4 所示。

表 4 火麻蛋白和火麻蛋白肽的游离氨基酸组成

氨基酸	火麻蛋白肽	火麻蛋白
疏水性氨基酸(非极性氨基酸)		
丙氨酸(Ala)	2.87 ± 0.07	1.81 ± 0.01
缬氨酸(Val)	3.63 ± 0.03	2.56 ± 0.06
蛋氨酸(Met)	2.05 ± 0.05	1.14 ± 0.04
异亮氨酸(Ile)	2.58 ± 0.02	2.07 ± 0.02
亮氨酸(Leu)	4.32 ± 0.03	2.94 ± 0.04
苯丙氨酸(Phe)	3.22 ± 0.02	2.09 ± 0.09
脯氨酸(Pro)	3.00 ± 0.10	1.74 ± 0.03
合计	21.68 ± 0.02	14.35 ± 0.29
中性(无电荷)极性氨基酸		
苏氨酸(Thr)	2.45 ± 0.05	1.35 ± 0.05
丝氨酸(Ser)	3.42 ± 0.01	1.47 ± 0.02
甘氨酸(Gly)	2.97 ± 0.03	1.85 ± 0.05
酪氨酸(Tyr)	1.73 ± 0.02	0.97 ± 0.02
胱氨酸(Cys)	1.79 ± 0.04	0.18 ± 0.03
合计	12.36 ± 0.15	5.82 ± 0.17
酸性(带负电)极性氨基酸		
天冬氨酸(Asp)	7.00 ± 0.50	4.37 ± 0.02
谷氨酸(Glu)	13.30 ± 0.30	7.73 ± 0.03
合计	20.30 ± 1.00	12.10 ± 0.05

续表 4 g/100 g

氨基酸	火麻蛋白肽	火麻蛋白
碱性(带正电)极性氨基酸		
赖氨酸(Lys)	3.28 ± 0.02	1.58 ± 0.03
组氨酸(His)	1.88 ± 0.02	1.18 ± 0.03
精氨酸(Arg)	8.44 ± 0.06	4.94 ± 0.04
合计	13.60 ± 0.10	7.70 ± 0.01
总氨基酸	67.93 ± 0.57	39.97 ± 0.51

注:色氨酸(Trp)在检测过程被完全破坏而未能检出

Note: Tryptophan (Trp) was completely destroyed during the detection process and was not detected

由表 4 可知,火麻蛋白肽总游离氨基酸及各类游离氨基酸(疏水性、中性极性、酸性极性和碱性极性氨基酸)含量均高于火麻蛋白的,而肽的降血压活性与其疏水性氨基酸的含量密切相关^[31-32]。吴长平^[15]分析了 845 条已报道的 ACE 抑制肽,发现其氨基酸组成中有 59.98% 是疏水性氨基酸,其中 Pro 贡献最大,其次为 Leu、Val 和 Tyr,另外,多肽的 N 末端出现疏水性氨基酸的频率高达 65.80%,C 末端出现疏水性氨基酸的频率高达 66.27%,C 端或 N 端为疏水性氨基酸的概率为 87.21%。高亲水性会使肽难以接近 ACE 的强疏水活性中心而导致其 ACE 抑制活性较低或无活性^[33]。据报道,肽的 C 末端为芳香族氨基酸(包括 Trp、Tyr 和 Phe)或 Pro 残基时其 ACE 抑制活性较高;而 N 末端为带支链的脂肪族氨基酸(包括 Val、Ile、Leu)或碱性氨基酸(Arg 或 Lys)残基的肽与 ACE 的亲和力较强,其 ACE 抑制活性也高^[34]。由表 4 可知,火麻蛋白肽中疏水性氨基酸占比高达 31.91%,部分芳香族氨基酸(Phe)、脂肪族氨基酸(Leu、Val)、碱性氨基酸(Arg 和 Lys)以及 Pro 含量也较高,表明火麻蛋白肽的氨基酸组成及特定的末端氨基酸种类可能是影响其发挥降血压功效的重要原因,但这仍需进一步研究。

3 结论

本研究以火麻仁为原料,采用碱溶酸沉法制备火麻蛋白,再通过分步酶解法制备火麻蛋白肽。以火麻蛋白肽为试样,对 SHR 进行单次和长期给药实验,发现经卡托普利和火麻蛋白肽干预后,单日给药后 1 h 及连续给药 7 d 后均可显著降低 SHR 的收缩压,且单日给药药效可持续 5 h,连续给药 21 d 还有降压效果,说明火麻蛋白肽在 SHR 体内能够发挥一定的降血压作用,有望成为新型的降血压功能食品成分。火麻蛋白肽中部分芳香族氨基酸(Phe)、脂肪族氨基酸(Leu、Val)和碱性氨基酸(Arg 和 Lys)以

及高占比疏水性氨基酸可能与火麻蛋白肽发挥降血压功效有密切关系,未来有必要进一步研究火麻肽结构与体内吸收及降血压作用机制。

参考文献:

- [1] 王宝贝,张慧,刘宇松,等. 食源性多肽的降血压作用及其机制研究进展[J]. 食品机械, 2024, 40(3): 217 - 224.
- [2] 肖红,段玉峰,刘平,等. 食品蛋白降血压肽及其研究进展[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 3 - 7.
- [3] 黄家音,朱禹洁,沈金玉. 降血压肽研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(6): 81 - 86.
- [4] 张晓梅. 降血压和降胆固醇大豆肽的分离纯化[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2006.
- [5] LIN Q, XU Q, BAI J, et al. Transport of soybean protein - derived antihypertensive peptide LSW across Caco - 2 monolayers[J]. J Funct Foods, 2017, 39: 96 - 102.
- [6] 辛志宏,马海乐,吴守一,等. 从小麦胚芽蛋白中分离和鉴定血管紧张素转化酶抑制肽的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(7): 130 - 133.
- [7] 李云亮,王晓静,阮思煜,等. 玉米多肽制备方法及其功能活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 434 - 441.
- [8] 林汝法,陕方,宋金翠,等. 酶法水解苦荞麸皮蛋白生产降血压肽[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 207 - 209.
- [9] 刘志国,吴琼,吕玲肖,等. 酶解米糠蛋白分离提取 ACE 抑制肽及其结构研究[J]. 食品科学, 2007, 28(3): 223 - 227.
- [10] 张艳,刘志伟. 分步酶解法制备菜籽降血压肽[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 228 - 232.
- [11] YANG Y J, HE H Y, WANG F Z, et al. Transport of angiotensin converting enzyme and renin dual inhibitory peptides LY, RALP and TF across Caco - 2 cell monolayers[J]. J Funct Foods, 2017, 35: 303 - 314.
- [12] 杨越,罗鹏,陈国刚. 葵花籽多肽的制备及其降血压活性研究[J]. 粮油加工, 2014(2): 36 - 39, 42.
- [13] PEI J Y, HUA Y, ZHOU T Y, et al. Transport, *in vivo* antihypertensive effect, and pharmacokinetics of an angiotensin - converting enzyme (ACE) inhibitory peptide LVLPGE[J]. J Agric Food Chem, 2021, 69: 2149 - 2156.
- [14] 张婷. 牛血红蛋白 ACE 抑制活性肽序列的鉴定、预测及其抑制机制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [15] 吴长平. 大豆 ACE 抑制肽的选择性制备及其作用机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [16] CHEN H, XU B, WANG Y, et al. Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications[J]. Food Sci Hum Wellness, 2023, 12(4): 929 - 941.
- [17] WEN Z S, XUE R, DU M, et al. Hemp seed

- polysaccharides protect intestinal epithelial cells from hydrogen peroxide - induced oxidative stress [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 135: 203 - 211.
- [18] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 大麻蛋白加工特性、改性及其活性肽研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(10): 231 - 242.
- [19] 侯一峰, 李雪馨, 包小兰. 亚麻籽蛋白酶解肽的降胆固醇作用研究[J]. *中国油脂*, 2024, 49(9): 28 - 35.
- [20] TANG C H, WANG X S, YANG X Q. Enzymatic hydrolysis of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate by various proteases and antioxidant properties of the resulting hydrolysates[J]. *Food Chem*, 2009, 114: 1484 - 1490.
- [21] LU R R, QIAN P, SUN Z, et al. Hemp seed protein derived antioxidative peptides; Purification, identification and protection from hydrogen peroxide - induced apoptosis in PC12 cells[J]. *Food Chem*, 2010, 4: 1210 - 1218.
- [22] 魏连会, 宋淑敏, 董艳, 等. 大麻籽多肽对高脂饮食喂养大鼠血脂的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 161 - 167.
- [23] RAIYAN M, ESTHER C, SHIWANGNI R, et al. The effect of selected hemp seed protein hydrolysates in modulating vascular function[J/OL]. *Food Biosci*, 2022, 45: 101504[2024 - 06 - 19]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101504>.
- [24] GIRGIH A T, HE R, MALOMO S, et al. Structural and functional characterization of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein - derived antioxidant and antihypertensive peptides[J]. *J Funct Foods*, 2014, 6: 384 - 394.
- [25] GIRGIH A T, UDENIGWE C C, LI H, et al. Kinetics of enzyme inhibition and antihypertensive effects of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2011, 88: 1767 - 1774.
- [26] GIRGIH A T, ALASHI A, HE R, et al. Preventive and treatment effects of a hemp seed (*Cannabis sativa* L.) meal protein hydrolysate against high blood pressure in spontaneously hypertensive rats[J]. *Eur J Nutr*, 2014, 53(5): 1237 - 1246.
- [27] MALOMO S A, ONUH J O, GIRGIH A T, et al. Structural and antihypertensive properties of enzymatic hemp seed protein hydrolysates[J]. *Nutrients*, 2015, 7(9): 7616 - 7632.
- [28] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 酶法制备大麻肽及其血管紧张素转化酶抑制活性研究[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(18): 127 - 132.
- [29] 胡学佳. 红娘鱼鱼肉降血压肽的制备及其降血压机理的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2023.
- [30] 刘飞, 苗建银, 杨余语, 等. 牛乳酪蛋白源 ACE 抑制肽对大鼠的降血压作用[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(7): 1 - 7.
- [31] 高博, 赵新淮. 耦合 Plastein 反应的大豆蛋白降压肽酶法制备技术[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 25 - 30.
- [32] LÓPEZ - FANDIÑO R, OTTE J, VAN CAMP J. Physiological, chemical and technological aspects of milk - protein - derived peptides with antihyper - tensive and ACE - inhibitory activity [J]. *Int Dairy J*, 2006, 16(11): 1277 - 1293.
- [33] 赵谋明, 任娇艳. 食源性生物活性肽结构特征与生理活性的研究现状与趋势[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(9): 69 - 81.
- [34] 刘冬, 李世敏, 张丽君, 等. 降血压肽的研究进展[J]. *深圳职业技术学院学报*, 2005, 4(1): 46 - 50.
-
- (上接第 32 页)
- [13] EVANGELISTA R L, ISBELL T A, TODD J, et al. *Euphorbia lagascae* seed oil obtained by pre - pressing and solvent extraction[J/OL]. *Ind Crops Prod*, 2022, 180: 114799[2023 - 10 - 19]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114799>.
- [14] RABADÁN A, PARDO J E, GÓMEZ R, et al. Influence of temperature in the extraction of nut oils by means of screw pressing[J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2018, 93: 354 - 361.
- [15] 蒋起宏, 卢红伶, 姚诗炜, 等. 不同香榧品种果实特性比较及脂肪酸组成分析[J]. *浙江农业科学*, 2023, 64(4): 945 - 948.
- [16] TODOROVIĆ Z B, MITROVIĆ P M, ZLATKOVIĆ V, et al. Optimization of oil recovery from oilseed rape by cold pressing using statistical modeling [J]. *J Food Meas Charact*, 2024, 18(1): 474 - 488.
- [17] 周万猛, 张新文, 石胜瑜, 等. 10 v/d 双螺杆榨油机压榨油茶籽的工艺研究[J]. *粮油食品科技*, 2024, 32(1): 77 - 81.
- [18] 刘梁, 张煜, 刘建, 等. 全自动卧式液压榨机制备核桃油的工艺优化[J]. *中国油脂*, 2022, 47(10): 8 - 10, 17.
- [19] 李芑荃, 胡文凯, 谭雪松. 核桃榨油的发展现状[J]. *现代食品*, 2020(16): 67 - 68, 71.
- [20] 修雪燕, 严欢, 张倩, 等. 两种工艺提取核桃油理化指标及主要营养成分分析[J]. *中国食物与营养*, 2023, 29(10): 21 - 24.