

## 神经酸来源新方向的探讨

蒲定福<sup>1</sup>,冯自伟<sup>2</sup>,郑仁健<sup>1</sup>,何梓铭<sup>3</sup>,蒲晓斌<sup>4</sup>,陈定全<sup>5</sup>,袁代斌<sup>1</sup>

(1. 四川绵邦农业科技有限公司,四川 绵阳 621000; 2. 禾大西普化学(四川)有限公司,四川 绵阳 621000;

3. 南京农业大学农学院,南京 210095; 4. 四川省农业科学院,成都 610011;

5. 广元市昭化区农业农村局,四川 广元 628017)

**摘要:**作为大脑神经纤维和神经细胞的核心成分,超长链单不饱和脂肪酸神经酸(Nervonic acid, NA)具有修复受损大脑神经纤维、促进神经细胞再生的功能。人体内缺乏神经酸会引起失眠健忘、脑萎缩,甚至脑瘫等脑疾病。虽然近30年来我国对神经酸植物的开发利用取得了显著进展,但是仍然未能解决神经酸缺乏的问题。笔者经大量检测发现,神经酸普遍存在于我国的甘蓝型、白菜型、芥菜型油菜籽中,对2017—2019年4 159份甘蓝型油菜资源种子的神经酸与芥酸含量进行分析,发现神经酸含量与芥酸含量存在正相关关系。综述了我国含神经酸植物的开发与利用情况及神经酸的合成与芥酸的关系,分析探讨了菜籽油中芥酸的有益价值,对选育并规模化开发利用高神经酸含量油菜品种作为神经酸来源新方向,从而解决目前神经酸原料缺乏的问题进行了探讨。

**关键词:**神经酸;芥酸;相关性;油菜;新来源

中图分类号:TQ645.6;S565.4 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)08-0076-06

### Discussion on the new source of nervonic acid

PU Dingfu<sup>1</sup>, FENG Ziwei<sup>2</sup>, ZHENG Renjian<sup>1</sup>, HE Ziming<sup>3</sup>, PU Xiaobin<sup>4</sup>,  
CHEN Dingquan<sup>5</sup>, YUAN Daibin<sup>1</sup>

(1. Sichuan Mianbang Agricultural Technology Co., Ltd., Mianyang 621000, Sichuan, China; 2. Croda

Sipo (Sichuan) Co., Ltd., Mianyang 621000, Sichuan, China; 3. College of Agriculture, Nanjing

Agricultural University, Nanjing 210095, China; 4. Sichuan Academy of Agricultural Sciences,

Chengdu 610011, China; 5. Agricultural and Rural Bureau of Zhaohua District,

Guangyuan 628017, Sichuan, China)

**Abstract:** As the core component of brain nerve cells and nerve fibers, nervonic acid, which is a kind of very long chain monounsaturated fatty acid (VLCMFA), can repair damaged brain nerve fibers and promote nerve cell regeneration. The deficiency of nervonic acid can lead to brain diseases such as insomnia, forgetfulness, brain atrophy, even cerebral palsy. Although remarkable progress has been made in the development of plants rich in nervonic acid in China in the past 30 years, the problem of lack of nervonic acid has not been solved. Through a large number of tests, it was found that the content of nervonic acid was common in rapeseed oil of *Brassica napus*, *Brassica campestris* and *Brassica juncea* in China. The fatty acid composition of 4 159 *Brassica napus* resources seeds in 2017—2019 was analyzed. There was a positive correlation between the content of nervonic acid and erucic acid. The development and utilization of natural nervonic acid-containing plants in China and the relationship between the synthesis of nervonic acid and erucic acid were summarized, the benefits of erucic acid in rapeseed oil was discussed, the breeding and large-scale development of rape varieties rich in nervonic acid as a new

source of nervonic acid to solve the current problem of lack of nervonic acid raw materials were discussed.

**Key words:** nervonic acid; erucic acid; correlation; rape; new source

收稿日期:2020-08-21;修回日期:2021-04-14

作者简介:蒲定福(1969),男,高级农艺师,硕士,主要从事油菜育种工作(E-mail)847562579@qq.com。

神经酸(Nervonic acid, NA)是一种超长链单不饱和脂肪酸(VLCMFA),化学名为顺-15-二十四碳烯酸(24:1 $\Delta^{15c}$ ),因最早发现于哺乳动物的神经组织中,故得此名<sup>[1]</sup>。神经酸作为大脑神经细胞和神经纤维的核心天然成分,是目前国内外学者公认的唯一一种能够修复受损大脑神经纤维,促进神经细胞再生的物质<sup>[2]</sup>。

作为一种神经营养因子,目前已有许多利用神经酸治疗大脑疾病的报道,诸如对阿尔茨海默病<sup>[3]</sup>、帕金森病<sup>[1]</sup>、策尔韦斯综合征<sup>[4]</sup>、肾上腺脑白质营养不良<sup>[5]</sup>、肿瘤<sup>[6]</sup>等疾病,神经酸都有明显的预防和治疗效果。此外,Oda等<sup>[7]</sup>研究表明,神经酸对于由肥胖引起的人体机能紊乱具有一定的抑制作用。神经酸还可促进婴儿大脑与视觉功能的发育<sup>[8-9]</sup>。王建民<sup>[10]</sup>对神经酸进行了一系列评价测试试验,结果表明神经酸能够显著提升受试者的记忆力和IQ值。另外,有研究表明神经酸甚至还能增强免疫功能,防治艾滋病<sup>[11]</sup>。同时,神经酸的缺乏也会引起诸多脑神经失调疾病,如记忆力衰退、失眠健忘、脑瘫、脑萎缩等<sup>[12]</sup>。

过去神经酸的主要来源是鲨鱼,但随着各国明令禁捕鲨鱼,神经酸的获取逐渐陷入困境,因此从植物油中提取神经酸开始成为各国政府和科学家的关注重点<sup>[13]</sup>。随着我国社会老龄化的到来,未来诸如帕金森病、阿尔茨海默病等涉及神经系统的老年疾病患者人数会大量增加,提高大脑及神经系统的健康状况十分迫切,加强含天然神经酸植物的寻找和开发利用意义重大。本文论述了我国含天然神经酸植物的开发与利用情况,探讨了油菜籽可作为神经酸来源新方向、植物细胞中神经酸合成与芥酸含量的关系及菜籽油中芥酸的价值,以期为高神经酸油菜品种的选育提供参考。

## 1 我国含神经酸植物的开发与利用情况

经检索发现,神经酸在植物中的分布较少,含量差别也较大,我国含神经酸的植物有31种,分布于11个科、16个属<sup>[14]</sup>。其中,大戟科血桐属的盾叶木(*M. adenantha* Gagnep)种仁含油率为60.3%、神经酸含量为55.9%,铁青树科蒜头果属的蒜头果(*M. oleifera*)种仁含油率为64.5%、神经酸含量为62.6%,二者是开发神经酸产品较为理想的植物资源<sup>[14]</sup>。而蒜头果(*M. oleifera*)和元宝枫(*A. truncatum* Bunge)则是我国特有的两种含神经酸植物,也是我国利用植物油提取神经酸的重要资源<sup>[15]</sup>。

改革开放以来,随着我国经济不断发展,人民生

活水平不断提高,保健养生意识不断增强,以及医药事业发展需要,植物神经酸的开发与利用也越来越受到重视。20世纪90年代,浙江大学神经酸项目研究中心的侯镜德等<sup>[1,16]</sup>首次从我国特有的木本植物中成功分离、提取出了高纯度的神经酸,并研制出神经酸的口服剂型,获得国家发明专利,打破了从鲨鱼中提取神经酸的局限。神经酸产品的功能检测及临床试验表明,服用神经酸3个月后,脑中中风后遗症、阿尔茨海默病、帕金森病、脑瘫、脑萎缩、脑外伤、记忆力减退等脑疾病平均显效率达96.6%,有效率为92.8%<sup>[17]</sup>。

蒜头果中神经酸含量最高,但由于分布地带狭窄,资源量少,繁殖难度大,限制了其规模化生产<sup>[18]</sup>。再加上蒜头果蛋白是一种双链高毒性蛋白<sup>[19]</sup>,分离提取安全无毒的蒜头果油难度较大,进一步限制了神经酸的生产加工。而元宝枫籽油中神经酸含量虽然比蒜头果低,但其产量高、容易获得,是一种可持续利用的木本植物神经酸资源,其开发利用也得到了高度重视<sup>[20]</sup>,自1991年起,元宝枫开发利用研究先后被国家林业部和陕西省列为科技攻关项目<sup>[21]</sup>,到2002年,元宝枫相关产品已逐步进入市场。

## 2 神经酸来源新方向探讨

虽然我国以元宝枫为突破口的神经酸开发利用取得了显著进展,但是元宝枫的生长繁育存在繁殖速度慢、生长周期长、采收难度大、生产成本高等特点,从而造成神经酸产品十分稀缺,往往以药品或保健品的形式提供给患者和消费者,普通大众难以获得。神经酸作为人体有益脂肪酸,是大脑神经细胞和神经组织的核心成分,寻找繁殖速度快、生长周期短、易采收、生产成本低的含神经酸植物进行开发利用,为大众提供便利的神经酸来源,普遍惠及人们的大脑及神经系统健康,显得尤为重要。

经检索发现,十字花科植物中,有5个属17个种的种子中含有神经酸,神经酸含量在1.0%~14.6%<sup>[14]</sup>。而十字花科植物多为一年生草本植物,具有生长周期短、繁殖速度快、易规模化生产、生产成本低等特点,是较为理想的神经酸来源植物。笔者经检测大量油菜籽发现,我国甘蓝型、白菜型、芥菜型三大油菜类型油菜籽中,普遍存在神经酸。基于甘蓝型油菜占我国油菜栽培面积95%以上,笔者重点分析研究了甘蓝型油菜籽中神经酸的含量及其分布规律,表1为笔者分别于2017—2019年对共计4159个甘蓝型油菜资源种子样品的芥酸与神经酸含量进行测定的结果。

表1 甘蓝型油菜资源种子中芥酸、神经酸含量检测结果

年份	样品数(个)	脂肪酸	含量/%			
			区间1	区间2	区间3	区间4
2017年	1 120	芥酸	0.11 ~ 3.00	3.01 ~ 25.00	25.01 ~ 50.00	50.01 ~ 62.28
		神经酸	0.10 ~ 0.31	0.54 ~ 1.05	0.61 ~ 1.56	0.74 ~ 1.77
2018年	1 452	芥酸	0.05 ~ 3.00	3.01 ~ 25.00	25.01 ~ 50.00	50.01 ~ 63.13
		神经酸	0.07 ~ 0.26	0.28 ~ 1.21	0.45 ~ 1.33	0.61 ~ 1.54
2019年	1 587	芥酸	0.11 ~ 3.00	3.01 ~ 25.00	25.01 ~ 50.00	50.01 ~ 61.14
		神经酸	0.06 ~ 0.28	0.35 ~ 1.15	0.54 ~ 1.48	0.62 ~ 1.90

从表1可以看出,2017—2019年测定的甘蓝型油菜资源种子中神经酸含量分布区间分别为0.10%~1.77%、0.07%~1.54%和0.06%~1.90%。

我国作为世界上最大的菜籽油生产国和消费国,菜籽油是我国人民主要的食用油来源之一,油菜常年种植面积在800万~1000万 $\text{hm}^2$ 。针对老人、小孩、孕妇、脑神经疾病患者及潜在的神经系统疾病患者等对神经酸有重要需求的消费人群,选育神经酸含量高的油菜品种进行规模化种植,提高该类人群食用油中神经酸含量整体水平,是解决他们食物中神经酸缺乏问题的最廉价、最快捷、最有效的途径,也是解决神经酸工业生产原料缺乏的有效途径。2017年5月31日,国家卫生和计划生育委员会通过2017年第7号公告发布乳木果油等10种新食品原料,菜籽油作为神经酸的提取原料,位列其中<sup>[22]</sup>,确认了菜籽油作为神经酸原料的可靠性和安全性。因此,选育并规模化开发利用高神经酸含量油菜品种极

大可能是获得大量神经酸原料的新方向。

### 3 植物细胞中神经酸合成与芥酸的关系

笔者在重点研究分析甘蓝型油菜籽中神经酸的含量及其分布规律时,以芥酸含量区间为标准将所检测样品划分为4个区间群体,并列出了相应群体的神经酸含量分布区间。通过分析发现:芥酸含量低于3%的材料群体中,神经酸含量均低于0.31%,含量极低;芥酸含量高于50%的材料群体中,神经酸含量均大于等于0.61%,含量较高;其中神经酸含量最高可达1.90%。随着群体芥酸含量区间升高,群体神经酸含量区间也表现出升高趋势(见表1)。

笔者分别对2017—2019年甘蓝型油菜籽中芥酸含量与神经酸含量检测结果进行相关性分析,结果表明3年的分析结果均达到极显著正相关(见表2),说明在甘蓝型油菜籽中神经酸含量与芥酸含量关系紧密,在芥酸含量高的材料群体中更容易筛选到神经酸含量高的材料。

表2 甘蓝型油菜籽中芥酸含量与神经酸含量相关性分析

脂肪酸	项目	2017年		2018年		2019年	
		芥酸	神经酸	芥酸	神经酸	芥酸	神经酸
芥酸	皮尔逊相关性	1.000	0.747**	1.000	0.824**	1.000	0.745**
	显著性(双尾)		0.000		0.000		0.000
神经酸	皮尔逊相关性	0.747**	1.000	0.824**	1.000	0.745**	1.000
	显著性(双尾)	0.000		0.000		0.000	

注:所用分析软件为IBM SPSS Statistics 24,\*\*表示差异极显著。

研究表明,植物细胞中的超长链单不饱和脂肪酸是以单不饱和脂肪酸(主链碳原子数小于20)为基础形成的,而单不饱和脂肪酸的形成又需要C18链的脂酰胺链(主碳链)的从头合成,此过程主要以乙酰-CoA为底物,在脂肪酸合成酶复合体催化下完成,根据催化的酶不同,又可细分为C2~C4、C4~C16以及C16~C183个不同的合成阶段。而后形成超长链单不饱和脂肪酸则是另一种完全不同的方式,需要以前一阶段生成的油酸为底物,通过超长链脂肪酸链延长循环进行碳链的延长,且每次循

环能够使原有脂肪酸的碳链延长两个碳原子,从而相继形成鳕油酸(20:1 $\Delta^{9c}$ )、芥酸(22:1 $\Delta^{13c}$ )、神经酸(24:1 $\Delta^{15c}$ )<sup>[23]</sup>。由此可见,植物细胞中的神经酸主要是以芥酸为底物通过一次延长循环而合成的。故目前含神经酸植物中普遍含有芥酸。这一现象不仅在十字花科植物中普遍存在,也存在于铁青树科植物中,如富含神经酸的蒜头果种仁芥酸含量达到12.58%<sup>[24]</sup>。

3-酮酯酰-CoA合酶(3-ketoacyl-CoA synthase, KCS)是超长链单不饱和脂肪酸延长过程

中的重要催化酶,研究发现,当 KCS 利用的底物为芥酸时,神经酸的产量比其他底物高数倍。Guo 等<sup>[25]</sup>将 *L. annua* 的 KCS 基因导入到拟南芥(富含鳕油酸)和 *B. carinaca*(富含芥酸)之中,经过异源表达,*B. carinaca* 所产神经酸量远高于拟南芥。由此可进一步说明,芥酸是神经酸合成过程中的重要的底物之一,高水平芥酸含量是更多神经酸合成的基础。

#### 4 菜籽油中芥酸的价值探讨

19 世纪中期以来,部分学者通过大白鼠喂养试验发现,摄入高芥酸菜籽油的幼鼠会出现发育迟缓、心肌坏死、心肌脂肪沉淀等症状,因此认为高芥酸含量的菜籽油“有毒”,会引发心脏疾病,此结论一经面世就引起全世界的轩然大波。然而,学界普遍认为芥菜型油菜(*B. juncea*)的起源中心在印度,白菜型油菜(*B. campestris* L.)的起源中心在中国,甘蓝型油菜(*B. napus* L.)的起源中心在欧洲<sup>[26]</sup>。考古及文献记载表明,在中国长江流域、印度恒河流域以及欧洲大部分地区具有数千年油菜栽培和菜籽油食用历史,这些地区的传统菜籽油芥酸含量一般在 25%~55%,但当地居民并未出现因长期食用菜籽油而导致的健康问题。数十年来,认为芥酸“有毒”和“无毒”的两派观点持续争论。但越来越多的证据表明芥酸对人体无害。

1986 年我国油脂化学泰斗汤逢教授<sup>[27-28]</sup>撰文认为,高芥酸菜籽油对大白鼠有毒但对人体无害,人可以放心食用,并强调,在国际上一致认为的用大白鼠做食用油试验是极不适宜的模型,并对试验设计的科学性提出了质疑,同时还列举了一些解剖案例来说明菜籽油中芥酸与人的心脏病并无必然联系,例如:1974 年在法国(当时吃高芥酸菜籽油较为普遍)解剖了 254 788 例心脏病尸体,只有 269 例有心肌坏死病灶(约占 0.11%),并确认是与饮酒有关,与食用菜籽油无关;1976 年在印度常年吃高芥酸菜籽油的加尔各答地区,解剖 100 多具尸体,未找到心脏病与高芥酸菜籽油之间的必然联系。但数十年来,学术界较少作进一步深入研究。

许多研究发现,芥酸在人体和大白鼠体内可转化为神经酸,并对多种神经系统疾病具有直接或间接的预防和治疗作用。Lecerf<sup>[29]</sup>将<sup>14</sup>C 标记的芥酸注射到大白鼠肺部后,发现肺部增加了许多含<sup>14</sup>C 标记神经酸的神经酰胺。Clouet 等<sup>[30]</sup>将芥酸注射到大白鼠静脉后,发现大白鼠肾脏中芥酸转化为油酸的比例低于转化为神经酸的。Sandhir 等<sup>[31]</sup>在研究策尔韦斯综合征(Zellweger syndrome)和肾上腺脑

白质萎缩症(X-linked adrenoleukodystrophy)时发现,神经酸是由芥酸的碳链加长形成的。Altinoz 等<sup>[32]</sup>研究认为,芥酸可以在人体内转化为神经酸,而神经酸是髓鞘的重要成分,因此芥酸或许兼具抗炎和再髓鞘化作用,进而能在脱髓鞘疾病多发性硬化(MS)的治疗中发挥重要作用。在地中海国家,民间用琉璃苣油(含芥酸和神经酸)来治疗 MS 就是有力证据<sup>[33]</sup>。在食用富含芥酸的琉璃苣油的正常人中也可以观察到红细胞鞘磷脂中神经酸的增加<sup>[34]</sup>。Carroll<sup>[35]</sup>研究发现,神经酸与芥酸对于肾上腺胆甾酸引起的疾病的治疗同样有效。根据 IARC(国际癌症研究机构)的数据,与西方国家相比,中国女性母乳中的芥酸含量明显更高<sup>[36]</sup>,同时中国婴儿很少患脑瘤<sup>[37]</sup>。芥酸或许可以作为少突胶质细胞/星形胶质细胞的祖细胞的分化剂,进而降低神经致癌的风险。

诸多研究结果表明,芥酸不仅对人体无害,而且是一种对人的大脑及神经系统有益的脂肪酸。学界普遍认为,比芥酸(22:1 $\Delta^{13c}$ )碳链少 4 个碳原子的油酸(18:1 $\Delta^9c$ )是对人体营养价值极高的脂肪酸,比芥酸碳链多 2 个碳原子的神经酸(24:1 $\Delta^{15c}$ )是对人体大脑及神经系统发育必不可少的有益脂肪酸,而神经酸(24:1 $\Delta^{15c}$ )的合成须以芥酸(22:1 $\Delta^{13c}$ )作底物。因此,有理由质疑认为芥酸对人体有害的观点是缺乏科学依据的。

#### 5 结束语

目前,我国虽然在蒜头果、元宝枫等木本植物的神经酸开发利用上取得了显著进展,但是由于其繁殖速度慢、生产周期长等原因致使大规模开发利用难度大,导致产品成本高、价格昂贵,普通民众难以获得。寻找繁殖速度快、生长周期短、产品成本低神经酸原料十分必要。笔者经大量油菜籽检测发现,神经酸普遍存在于我国的甘蓝型、白菜型、芥菜型三大类型油菜籽中。而油菜作为我国主要油料作物,具有生长周期短、繁殖速度快、易规模化生产、原料成本低等特点。故加强高神经酸含量油菜品种选育并进行规模化开发利用,极大可能成为我国未来大规模、低成本神经酸原料来源的新方向。

根据超长链脂肪酸链延长循环规律,植物细胞在合成神经酸时,必然会先合成二十二碳单烯酸,在油菜中,这种脂肪酸主要是芥酸。经过相关检测分析发现,甘蓝型油菜籽中芥酸含量与神经酸含量成正相关,即神经酸含量高的油菜籽往往芥酸含量也高。长久以来,认为芥酸“有毒”与“无毒”的两派观

点争论不断,但越来越多的证据表明芥酸对人体是无害的,甚至还可能对一些疾病起到预防或治疗作用。因此,我们需深入研究芥酸在菜籽油的诸多脂肪酸成分中的有益地位,客观评价芥酸在菜籽油中的价值,正确引导生产与消费,避免因过度追求“低芥”,而错失菜籽油中的神经酸,使得这种有益而稀缺的脂肪酸无法惠及大众。

但与此同时,由于低芥酸菜籽油中富含油酸、亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸,除满足人体营养需求外,还具有降低心脑血管疾病发病率和死亡率,抑制血小板凝集,预防缺血性中风等诸多优点,故我们在进行高神经酸含量油菜研究的同时,也有必要根据不同需求群体,加强高油酸、高亚油酸、高亚麻酸等“双低”油菜品种的选育和研究,让菜籽油更好地造福人类。

#### 参考文献:

- [1] 侯镜德,陈至善. 神经酸与脑健康[M]. 北京:中国科学技术出版社,2006.
- [2] 王性炎. 我国应重视神经酸植物的发展与利用[J]. 中国油脂, 2011, 36(11):52-54.
- [3] 王建民,胡晓凯,王建林,等. 生物活性物质神经酸钙的分离提取纯化生产工艺及其在治疗老年痴呆症中的应用:CN200910101699.X [P]. 2011-03-30.
- [4] TANAKA K, SHIMIZU T, OHTSUKA Y, et al. Early dietary treatments with Lorenzo's oil and docosahexaenoic acid for neurological development in a case with Zellweger syndrome[J]. Brain Dev, 2007, 29(9):586-589.
- [5] SARGENT J R, COUPLAND K, WILSON R. Nervonic acid and demyelinating disease [J]. Med Hypotheses, 1994, 42(4):237-242.
- [6] 贺浪冲,高雯. 元宝枫油乳液对艾氏腹水癌小鼠的抗肿瘤作用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1996:77-78.
- [7] ODA E, HATADA K, KIMURA J, et al. Relationships between serum unsaturated fatty acids and coronary risk factors: negative relations between nervonic acid and obesity-related risk factors [J]. Int Heart J, 2005, 46(6):975-985.
- [8] FARQUHARSON J, JAMIESON C, LOGAN R W, et al. Docosahexaenoic and nervonic acids in term and preterm infant cerebral white matter[J]. Prenat Neonat Med, 1996(1):234-240.
- [9] BABIN F, SARDA P, LIMASSET B, et al. Nervonic acid in red blood cell sphingomyelin in premature infants: an index of myelin maturation [J]. Lipids, 1993, 28(7):627-630.
- [10] 王建民. 神经酸对改善记忆的影响及在益智食品方面的应用研究进展[J]. 食品信息与技术, 2004(4):42.
- [11] NOBUYUKI K, YOSHIYUKI M, FUMIO S, et al. Three-dimensional structural model analysis of the binding site of an inhibitor, nervonic acid, of both DNA polymerase and HIV-1 reverse transcriptase1 [J]. J Biochem, 2002(5):819-828.
- [12] 中风、帕金森、脑萎缩、老年痴呆、脑外伤、癫痫[EB/OL]. (2004-11-05) [2020-05-20]. [http://qingdaonews.com/gb/content\(2004-11/05/content\\_3858441.html\)](http://qingdaonews.com/gb/content(2004-11/05/content_3858441.html)).
- [13] 王性炎,王姝清. 神经酸研究现状及应用前景[J]. 中国油脂, 2010,35(3):6-10.
- [14] 马柏林,梁淑芳,赵德义,等. 含神经酸植物的研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(13):2362-2365.
- [15] 王性炎,樊金栓,王姝清. 中国含神经酸植物开发利用研究[J]. 中国油脂, 2006,31(3):69-71.
- [16] 侯镜德,胡伟. 金属盐沉淀法分离神经酸[J]. 生物技术, 1996, 6(1):39-41.
- [17] 神经酸:人类大脑的保护神[EB/OL]. [2020-05-21]. <http://www.sjs.net.cn>.
- [18] 宁德鲁. 蒜头果的综合开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(6):24-25.
- [19] 袁燕,戴晓畅,王德斌,等. 蒜头果蛋白的急性毒性试验[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(28):13638,13642.
- [20] 王性炎. 中国元宝枫[M]. 成都:四川民族出版社, 2003.
- [21] 王性炎,盛平想,王姝清. 元宝枫开发利用研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1996.
- [22] 国家卫生和计划生育委员会. 解读《乳木果油等10种新食品原料的公告》[J]. 饮料工业,2017,20(3):4-5.
- [23] 田德雨,王士安,王立昊,等. 超长链单不饱和脂肪酸的生物合成和代谢工程[J]. 生物技术通报, 2015, 31(12):42-49.
- [24] 张茜,谭瑜,李雁群,等. GC-MS测定蒜头果油中的脂肪酸含量[J]. 安徽农业科学, 2016(5):15-17.
- [25] GUO Y, MIETKIEWSKA E, FRANCIS T, et al. Increase in nervonic acid content in transformed yeast and transgenic plants by introduction of a *Lunaria annua* L. 3-ketoacyl-CoA synthase (KCS) gene [J]. Plant Mol Biol, 2009, 69(5):565-575.
- [26] 刘后利. 油菜的遗传和育种[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1985.
- [27] 汤逢. 为高芥酸菜油平反正名[J]. 郑州粮食学院学报, 1986(2):62-63.
- [28] 汤逢. 高芥酸菜油恢复了名誉[J]. 中国粮油学报, 1986(1):36-42.

关,与蛋白质含量呈极显著负相关,与芝麻林素含量相关性不显著; $a^*$ 值与脂肪含量呈极显著负相关,与芝麻林素含量呈极显著正相关,与蛋白质、芝麻素含量相关性不显著; $b^*$ 值与脂肪、芝麻素、芝麻林素含量均呈极显著正相关,但与蛋白质含量呈极显著负相关。

### 3 结 论

品质性状是评价芝麻品种和商品质量的重要指标,本研究利用 294 个代表性芝麻品种资源,通过多点种植和测定籽粒脂肪、蛋白质、芝麻素和芝麻林素含量,全面分析了不同株型、叶腋花数、生育期、籽粒大小、籽粒形状、籽粒颜色等类型品种的芝麻品质性状的差异,发现不同品种类型的芝麻品质性状存在显著差异,芝麻品质性状与农艺性状存在显著相关。

### 参考文献:

- [1] BEDIGIAN D, HARLAN J R. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world[J]. *Econ Bot*, 1986, 40(2): 137 - 154.
- [2] UZUN B, ARSLAN C, FURAT S. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.) [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2008, 85(12): 1135 - 1142.
- [3] 韩亚飞, 汪学德, 郑永战, 等. 豫芝 11 号种子发育过程中蛋白质及其组分的变化规律[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(4): 652 - 661.
- [4] NAMIKI M. Nutraceutical functions of sesame: a review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2007, 47(7): 651 - 673.
- [5] ANILAKUMAR K R, PAL A, KHANUM F, et al. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds: an overview [J]. *Agric Conspec Sci*, 2010, 75(4): 159 - 168.
- [6] 杨湄, 黄凤洪. 中国芝麻产业现状与存在问题、发展趋势与对策建议[J]. *中国油脂*, 2009, 34(1): 7 - 12.
- [7] 张雯丽. 中国特色油料产业高质量发展思路与对策[J]. *中国油料作物学报*, 2020, 42(2): 167 - 174.
- [8] 油料作物品质分析课题组. 芝麻品种化学成分初步研究[J]. *中国农业科学*, 1984, 17(1): 58 - 61.
- [9] TASHIRO T, FUKUDA Y, OSAWA T, et al. Oil and minor components of sesame (*Sesamum indicum* L.) strains[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1990, 67(8): 508 - 511.
- [10] 柳家荣, 郑永战, 徐如强. 芝麻种质营养品质研究[J]. *华北农学报*, 1992, 7(3): 110 - 116.
- [11] 张秀荣, 冯祥运, 肖唐华. 鄂豫皖芝麻种质资源品质状况分析[J]. *作物品种资源*, 1993(1): 26 - 27.
- [12] 黄尚琼. 中国栽培芝麻资源的品质状况[J]. *中国农业科学*, 1994, 27(1): 12 - 17.
- [13] 张秀荣, 李培武, 汪雪芳, 等. 芝麻种子木质素组分、粗脂肪、粗蛋白含量及相关性分析[J]. *中国油料作物学报*, 2005, 27(3): 88 - 90.
- [14] WANG L H, ZHANG Y X, LI P W, et al. HPLC analysis of seed sesamin and sesamol variation in a sesame germplasm collection in China [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2012, 89(6): 1011 - 1020.
- [15] 梅鸿猷, 魏安池, 刘艳阳, 等. 芝麻种质资源芝麻素、蛋白质、脂肪含量变异及其相关分析[J]. *中国油脂*, 2013, 38(4): 87 - 90.
- [16] 高锦鸿, 梅鸿猷, 刘艳阳, 等. 产地及籽粒外观品质对芝麻木酚素含量的影响[J]. *华北农学报*, 2015, 30(2): 191 - 197.
- [17] 吴坤, 吴文雄, 杨敏敏, 等. 白芝麻籽粒油脂、蛋白质及芝麻素含量 QTL 定位分析[J]. *作物学报*, 2017, 43(7): 1003 - 1011.
- [18] 刘艳阳, 汪红, 芦海灵, 等. 野生和栽培芝麻种子品质性状及近红外光谱分析[J]. *河南农业科学*, 2014, 43(5): 44 - 47, 68.
- [19] LIU Y Y, MEI H X, DU Z W, et al. Nondestructive estimation of fat constituents of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds by near - infrared reflectance spectroscopy[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, 92(7): 1035 - 1041.
- [20] KUMAZAKI T, YAMADA Y, KARAYA S, et al. Effects of day length and air and soil temperatures on sesamin and sesamol contents of sesame seed [J]. *Plant Prod Sci*, 2009, 12(4): 481 - 491.
- [29] LECERF J. Evidence of accumulation of ceramides containing [ $^{14}$ C] nervonic acid in the rat lung following injection of [ $^{14}$ C] erucic acid [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1980, 617(3): 398 - 409.
- [30] CLOUET P, ONG N, J BÉZARD. Conversion of erucic acid in subcellular fractions from liver, kidneys and heart of rat, 8 min after intravenous injection (author's transl) [J]. *J De Physiol*, 1980, 76(6): 575 - 581.
- [31] SANDHIR R, KHAN M, CHAHAL A. et al. Localization of nervonic acid  $\beta$  - oxidation in human and rodent peroxisomes: impaired oxidation in Zellweger syndrome and X - linked adrenoleukodystrophy [J]. *J Lipid Res*, 1998, 39(11): 2161 - 2171.
- [32] ALTINOZ M A, OZPINAR A. PPAR -  $\delta$  and erucic acid in multiple sclerosis and Alzheimer's disease. Likely benefits in terms of immunity and metabolism [J]. *Int Immunopharmacol*, 2019, 69: 245 - 256.
- [33] ASADI - SAMANI M, BAHMANI M, RAFIEIAN - KOPAEI M. The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of *Borago officinalis*: a review [J]. *Asian Pac J Trop Med*, 2014, 7(S1): S22 - S28.
- [34] 王熙才, 左曙光, 邱宗海, 等. 艾舍尔软胶囊增强小鼠免疫力的实验研究 [J]. *昆明医科大学学报*, 2008(6): 71 - 75.
- [35] CARROLL K K. Metabolism of  $^{14}$ C - labelled oleic acid, erucic acid and nervonic acid in rats [J]. *Lipids*, 1966, 1(3): 171 - 175.
- [36] YUHAS R, PRAMUK K, LIEN E L. Human milk fatty acid composition from nine countries varies most in DHA [J]. *Lipids*, 2006, 41(9): 851 - 858.
- [37] STILLER C A, NECTOUX J. International incidence of childhood brain and spinal tumours [J]. *Int J Epidemiol*, 1994, 23(3): 458 - 464.

(上接第 80 页)