

沈群教授主持“谷子的发展与营养”特约专栏文章之一

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.04.008

沈群, 王超. 国内外主要粟类作物的种植、研究及产业化概况[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(4): 51-59.

SHEN Q, WANG C. An overview of planting, research and industrialization of international millet crops[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(4): 51-59.

# 国内外主要粟类作物的种植、研究及产业化概况

沈 群, 王 超

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 国家粮食产业(青稞深加工)技术创新中心, 北京, 100083)

**摘 要:** 粟类作物是一类籽粒小、抗旱、耐贫瘠的一年生作物的统称, 多种植和消费在亚洲和非洲的发展中国家, 我国栽培面积比较大的是谷子和糜子。与种植和消费情况不同, 亚洲、欧洲和美洲相对发达国家的政府更重视粟类作物的科学研究及其科研投入。我国国家自然科学基金资助发表的粟类研究论文居世界之首, 欧洲委员会、英国研究与创新署、美国国家科学基金会资助的粟类研究论文数量排名紧跟其后。梳理了近5年发表的粟类科研论文, 印度最多, 其次是我国和美国。基于粟类作物富含膳食纤维、蛋白质、矿物质、多酚等, 其具有多方面的健康功效, 因此粟类的食品科学技术和植物科学成为最热的研究领域。最后阐述了国内外传统的和工业化的粟类产品情况。

**关键词:** 粟类作物; 谷子; 种植; 健康功效; 研究方向; 基金资助; 产业化

中图分类号: TS210 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)04-0051-09

网络首发时间: 2022-06-30 13:00:35

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20220629.1711.024.html>

## An Overview of Planting, Research and Industrialization of International Millet Crops

SHEN Qun, WANG Chao

(College of Food Science and Nutritional Engineering, National Center of Technology Innovation (Deep Processing of Highland Barley) in Food Industry, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Millet crops are a general term of a class of annual crops with small grains, drought resistance, and barren resistance. Millets are mostly planted and consumed in developing countries in Asia and Africa. Foxtail millet and prosomillet are the most cultivated varieties in China. Governments of relatively developed countries in Asia, Europe and America pay more attention to scientific research and investment of millet crops rather than planting and consuming situation of that. The number of published papers on millet research supported by the National Natural Science Foundation of China ranks first in the world, followed by that funded by European Commission, the UK Research and Innovation Agency, and the US National Science

收稿日期: 2022-02-07

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-06-14.5)

Supported by: China Agriculture Research System of MOF and MARA (No. CARS-06-14.5)

作者简介: 沈群, 女, 1967年出生, 博士, 教授, 研究方向为粮食油脂与植物蛋白工程。E-mail: shenqun@cau.edu.cn. 作者详细介绍见 PC8.

Foundation. However, in the last five years, India published the most of research papers, followed by China and the United States. Millets have many health benefits due to their richness in dietary fibers, proteins, minerals polyphenols, et al., so food science and technology and plant science have been becoming the hottest research areas on millet. Finally, we described some traditional and industrial millet products.

**Key words:** millets crops; foxtail millet; cultivation; health benefits; research area; foundation grant; industrialization

## 1 主要粟类作物的种植情况

### 1.1 全球主要粟类作物的种植情况

在禾本科作物中,凡是籽粒较小、可作为食用或饲用,与谷子有类似性状的一年生作物,统称为粟类作物(millet)。Millet一词源于法文Mile,意思是手拿一把即含有上千籽粒。粟类作物大多具有生育期短、耐干旱、耐高温、耐贫瘠、抗病虫害能力强等特点,因此多种植在半干旱地区的贫瘠土地上<sup>[1]</sup>。目前约有93个国家种植粟类作物,但只有7个国家的种植面积超过了100万hm<sup>2</sup>(图1)。2020年亚洲产量占全球粟类作物产量的51.7%,非洲占45.3%,97%的粟类作物的种植和消费在发展中国家(图2)。1994—2020年间全球粟类作物种植面积整体呈现下降趋势,2020年的粟类作物种植面积约是1994年的90%,但粟类作物的产量并没有随着种植面积下降,而是稳步提升,2020年粟类作物的产量比1994年提高了12.5%,单产从767 kg/hm<sup>2</sup>,提高到948 kg/hm<sup>2</sup>(图3~4)。

世界上属于粟类作物的至少有14种,通常可分为大粒粟类作物和小粒粟类作物,大粒粟类作

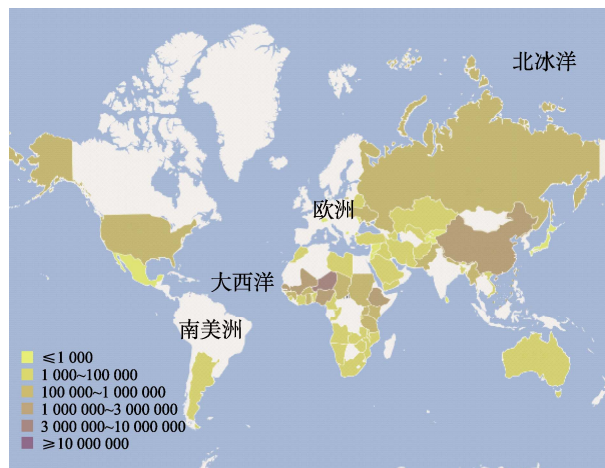


图1 全球主要种植粟类作物的国家和地区

Fig.1 Countries and regions where millet crops are mainly grown

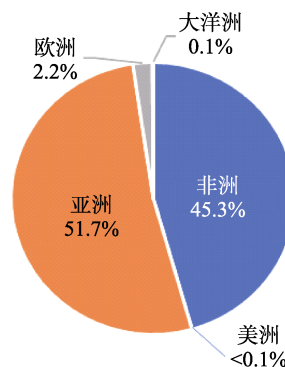


图2 各大洲粟类作物产量占比

Fig.2 Production shares of millet by region

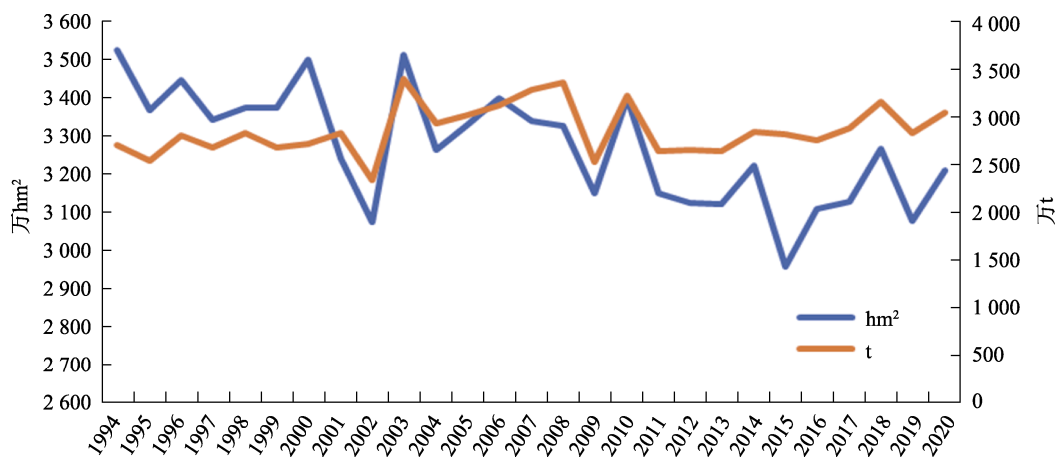


图3 1994—2020年粟类作物种植面积及产量

Fig.3 Production area and yield of millet crops from 1994 to 2020

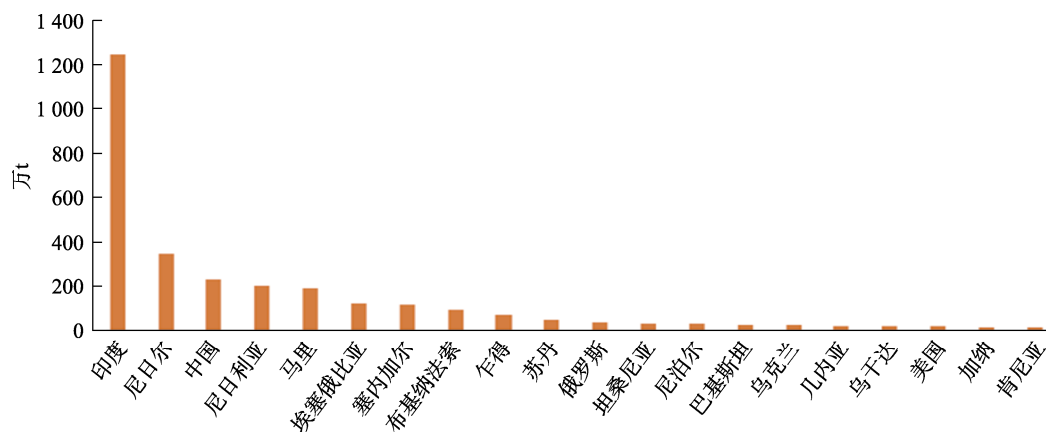


图 4 2020 年粟类作物产量排名前 20 的国家

Fig.4 Top 20 countries of millet production in 2020

注: 图 1~4 数据来源: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>, 2022.2.5。

Note: Data Sources of Fig. 1 to Fig. 4: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>, 2022.2.5.

物包括珍珠粟 (pearl millet) 和高粱 (sorghum); 小粟类作物包括谷子 (粟) (foxtail millet)、龙爪粟 (Finger millet)、食用稗 (barnyard millet)、糜子 (黍或稷) (proso millet)、库都粟 (kodo millet) 和小黍 (little millet) 等。以上粟类作物在全球广泛种植<sup>[1]</sup>。有意思的是通常在介绍粟类作物时, 包括珍珠粟但排除了高粱, 甚至联合国粮农组织在统计粟类作物种植面积和产量时, 也不包括高粱。由于作物起源地、种植区域、历史变迁、方言等诸多因素的影响, 国内外同一种粟类作物往往都有多个名称 (表 1)<sup>[1-2]</sup>。

## 1.2 中国主要粟类作物的种植情况

我国粟类作物栽培面积比较大的是谷子和糜子, 其他粟类也有少量种植。我国谷子糜子的产量约占世界谷子产量的 45% 以上。谷子和糜子均起源于我国, 其驯化栽培历史可追溯到 16 000 年前, 属于人类最早驯化栽培的禾谷类作物<sup>[3]</sup>。古人将谷子称为粟或稷, 最初“粟”之称通行于民间, “稷”则用于庙堂。谷子加工后的粮食即为小米; 黍子即黍, 加工后为黄米。小米多以粥、饭形式食用, 黄米则多制成粘糕、油糕<sup>[4]</sup>。

解放初期, 我国谷子种植面积约 1 000 万  $\text{hm}^2$ , 在北方是三大主粮之一。之后谷子播种面积持续下降。20 世纪 80 年代末期, 谷子在全国的播种面积约 150 万  $\text{hm}^2$ , 成为了主要的杂粮作物, 到 2018 年种植面积只有 77.8 万  $\text{hm}^2$ 。尽管播种面积

下降, 但单产稳步提高, 从 1978 年到 2018 年的 40 年间, 单产由 1 536  $\text{kg}/\text{hm}^2$  提高到 3 009  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 我国谷子单产产量远远高于世界平均水平, 这应归功于我国育种、栽培、病虫害防治、田间管理等各方面科学家及农民的不懈努力。

目前, 中国谷子主要分布在内蒙古自治区、山西省、河北省、陕西省、辽宁省、吉林省、甘肃省、宁夏回族自治区、山东省、河南省、黑龙江省、北京市、天津市等北方 13 个省 (市、自治区), 其中, 内蒙古自治区、山西省和河北省种植面积占全国种植面积的 67.1%, 新疆维吾尔自治区、安徽省等新兴产区种植面积逐步扩大<sup>[5]</sup> (图 5)。



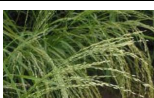
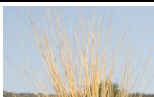
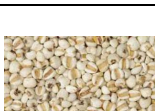
图 5 2017 年我国主要种植谷子的省份

Fig.5 Provinces where foxtail millets are mainly grown in China, 2017

注: 数据来源: <http://data.chinabaogao.com/nonglinmuyu/2019/0R43PA2019.html>, 2022.2.5。

Note: Data Sources: <http://data.chinabaogao.com/nonglinmuyu/2019/0R43PA2019.html>, 2022.2.5.

表 1 主要粟类作物的种类和产地<sup>[1-2]</sup>  
Table 1 Species and origin of the main millet crops

| 中文名称                   | 学名                                                             | 英文名                       | 其他名称                                                                   | 起源地                      | 主产地                                                     | 作物图                                                                                   | 籽粒图                                                                                   |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 谷子、粟、梁、<br>狐尾粟、<br>狗尾粟 | <i>Setaria italica</i><br>L. subsp. <i>italica</i>             | Foxtail<br>millet         | Italian millet,<br>Foxtail bristle<br>millet                           | 中国                       | 中国、缅甸、印度、<br>东欧                                         |    |    |
| 糜子、黍、稷、<br>黄粟、大黄米      | <i>Panicum<br/>milliaceum</i> L.<br>subsp.<br><i>miliaceum</i> | Proso<br>millet           | Broom millet,<br>Panic millet,<br>Common millet,<br>Hog millet         | 中国                       | 中国、美国、俄罗斯、<br>印度、伊朗、<br>乌克兰、南韩、波<br>兰、白俄罗斯、哈<br>萨克斯坦、法国 |    |    |
| 食用稗、日本<br>稗、湖南稗子       | <i>Echinochloa<br/>esculenta</i> A./                           | Barnya<br>rd<br>millet    | Japanese barnyard<br>millet, Sawa millet                               | 日本                       | 印度、日本、中国、<br>马来西亚                                       |    |    |
| 龙爪谷(稷)、<br>鸭脚黍         | <i>Eleusine<br/>coracana</i>                                   | Finger<br>millet          | Ragi, Wimbi                                                            | 乌干达<br>和埃塞<br>俄比亚        | 印度、尼泊尔、斯<br>里兰卡卢旺达、埃<br>塞俄比亚、乌干达<br>马拉维布、布隆迪            |    |    |
| 御谷、蜡烛<br>粟、珍珠粟         | <i>Pennisetum<br/>glaucum</i> L.                               | Pearl<br>millet           | Bajra,<br>Bulrush millet,<br>Cattail millet,<br>Babala                 | 非洲                       | 非洲、亚洲、澳洲                                                |    |    |
| 库都粟、圆果<br>雀稗           | <i>Paspalum<br/>scrobiculatum</i><br>L.                        | Kodo<br>millet            | Creeping paspalum,<br>Indian paspalum,<br>Water couch,<br>Ditch millet | 印度                       | 印度                                                      |   |   |
| 小黍                     | <i>Panicum<br/>sumatrense</i>                                  | little<br>millet          | Blue panic,<br>Heen meneri,<br>Sajje                                   | 印度                       | 印度                                                      |  |  |
| 埃塞俄比亚<br>画眉草、台夫        | <i>Eragrostis tef</i>                                          | Teff                      | Teff, lovegrass,<br>annual bunch<br>grass, Williams<br>love grass      | 埃塞俄<br>比亚、<br>厄立特<br>里亚国 | 埃塞俄比亚                                                   |  |  |
| 马唐、<br>直长马唐            | <i>Digitaria exilis</i>                                        | Fonio<br>millet           | —                                                                      | 西非                       | 尼日利亚、多哥、<br>贝宁                                          |  |  |
| 薏苡、薏仁米                 | <i>Coix<br/>lacryma-jobi</i>                                   | Adlay,<br>Job's<br>tesars | Adlay millet<br>Chinese pearl<br>barley                                | 东南亚                      | 菲律宾、扎伊尔                                                 |  |  |

注：图片源自百度或谷歌。

Note: Images from Baidu or Google.

## 2 资助粟类作物研究的各国基金和科研产出情况

尽管粟类作物主要种植和消费在发展中国家，但科学研究则主要集中在相对发达的国家，

有较多的基金资助，发表的论文也较多。从 Web of Science 检索 2017 年至 2022 年初发表论文国家看，印度发表论文最多，其次是我国，排名第三的是美国，之后是法国、瑞士等较发达国家（表 2），研究集中在亚洲、欧洲和美洲，这与粟类作

物的主要种植区域形成了鲜明的对照。从标注的基金看,我国国家自然科学基金资助后发表的论文最多,达到 892 篇,欧洲委员会(European Commission)发表的论文 714 篇,英国研究与创新(UK Research Innovation, Ukri)资助的有 602 篇,美国国家科学基金会紧随其后(National Science Foundation, Nsf)(表 3),从前 20 的标注基金看,亚洲、欧洲和美洲支持的研究项目较多。我国自 2007 年开始,由原农业部、财政部启动建设国家现代农业产业技术体系,15 年来一直稳定支持谷子、高粱、糜子从育种到加工的全方位研究,在谷子、高粱、糜子方面取得了显著的成果。

表 2 发表粟类作物论文排名前 10 的国家  
 Table 2 Top 10 countries with published papers on millet crops

| 国家 | 论文产出数 | 国家  | 论文产出数 |
|----|-------|-----|-------|
| 印度 | 1 529 | 英国  | 773   |
| 中国 | 1 404 | 土耳其 | 772   |
| 美国 | 1 403 | 德国  | 746   |
| 法国 | 1 380 | 巴西  | 737   |
| 瑞士 | 786   | 西班牙 | 723   |

注:数据来源 <http://www-webofscience-com-s.vpn.cau.edu.cn:8118/wos/woscc/basic-search, 2022.2.5>

Note: Data Sources: <http://www-webofscience-com-s.vpn.cau.edu.cn:8118/wos/woscc/basic-search, 2022.2.5>

在我国国家自然科学基金资助的粟类作物项目中,以谷子基因组与遗传领域研究方面的基金较多,仅 2020 年,启动的基金就包括“SiTAA1 调控谷子穗发育的功能研究和机理分析”“黄土旱区基于根土界面土壤 C/N 调控的谷子根系水分高效利用机制研究”“谷子基因组编辑技术体系的建立及在生物强化中的应用”“陕北不同年代谷子品种根系吸水能力的变化及其调控机制”“基于种内和种间高密度 Bin map 图谱挖掘谷子关键抗旱分子靶点”“谷子磷效率相关性状的全基因组关联分析和基因组预测”6 项。与作物研究相比,近 5 年食品领域相关的基金较少,查询到“脂肪氧化酶 SiLOX4 调控小米褪色的功能解析”“小米多酚对高脂饮食下氧化应激的代谢调控机制研究”“基于光诱导的小米脂质氧化劣变机理研究”“小米类胡萝卜素积累的分子机制研究”“小米储藏过程中脂肪氧化酶介导的褪色机制研究”5 项。

Web of Science 上显示,粟类的食品科学技术和植物科学是最热的研究领域,自 2017 年以来分别发表了 723 篇和 681 篇论文、专著或会议报告,其中食品科学技术领域发表的研究型论文 621 篇,77 篇涉及营养膳食领域。近 5 年发表关于粟类研究的食品类杂志如表 4 所示。Nature、Science

表 3 2017 年至 2022 年初资助过粟类作物研究的基金及论文产出(排名前 20)  
 Table 3 Research funds and their paper output of millet crops from 2017 to the beginning of 2022 (Top 20)

| 基金资助                                                                               | 论文产出数 | 基金资助                                                           | 论文产出数 |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------|-------|
| 中国国家自然科学基金                                                                         | 892   | 德国研究基金会(German Research Foundation, Dfg)                       | 504   |
| 欧洲委员会(European Commission)                                                         | 714   | 德国联邦教育研究部(Federal Ministry of Education Research, Bmbf)        | 494   |
| 英国研究与创新署(UK Research Innovation, Ukri)                                             | 602   | 法国国家科学研究中心(Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS) | 493   |
| 美国国家科学基金会(National Science Foundation, Nsf)                                        | 596   | 法国科学基金(Fonds De La Recherche Scientifique, CNRS)               | 492   |
| 巴西国家科学技术发展委员会(Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico, CNPq) | 574   | 奥地利科学基金(Austrian Science Fund, FWF)                            | 488   |
| 巴西协调高级人员的发展(Coordenacao de Aperfeicoamento de Pessoal de Nivel Superior, CAPES)    | 559   | 中国科学院                                                          | 488   |
| 印度科技部(Department of Science Technology India)                                      | 525   | 芬兰科学院(Academy of Finland)                                      | 487   |
| 美国能源部(United States Department of Energy)                                          | 513   | 墨西哥科技理事会(Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia Conacyt)     | 487   |
| 巴西圣保罗宪法保障基金(Fundacao de Amparo a Pesquisa do Estado de Sao Paulo Fapesp)           | 508   | 希腊发展部(Greek Ministry of Development, GSRT)                     | 487   |
| 英国科学技术设施委员会(Science and Technology Facilities Council, STFC)                       | 508   | 韩国 MSIP (Msip Republic of Korea)                               | 377   |

注:数据来源 <http://www-webofscience-com-s.vpn.cau.edu.cn:8118/wos/woscc/basic-search, 2022.2.5>

Note: Data Sources: <http://www-webofscience-com-s.vpn.cau.edu.cn:8118/wos/woscc/basic-search, 2022.2.5>

表 4 食品科学技术领域发表的粟类作物研究的期刊及论文数 (排名前 10)

Table 4 Number of journals and papers on millets in the field of food science and technology (Top 10)

| 发表的期刊                                         | 论文数 | 发表的期刊                                                | 论文数 |
|-----------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------|-----|
| Journal of Food Science and Technology Mysore | 56  | Food                                                 | 22  |
| Food Chemistry                                | 50  | Journal of Food Measurement and Characterization     | 20  |
| LWT Food Science and Technology               | 45  | International Journal of Food Science and Technology | 17  |
| Journal of Cereal Science                     | 44  | Journal of Agricultural and Food Chemistry           | 16  |
| Journal of Food Processing and Preservation   | 32  | Food Research International                          | 15  |

注: 数据来源 <http://www.webofscience-com-s.vpn.cau.edu.cn:8118/wos/woscc/basic-search>, 2022.2.5。

Note: Data Sources: <http://www.webofscience-com-s.vpn.cau.edu.cn:8118/wos/woscc/basic-search>, 2022.2.5.

等顶级科学杂志发表的论文多以粟类作物基因方面的研究为主, 与食品相关的研究较少。

### 3 粟类食品的研究方向

粟类作物被广泛用于食品、饲料或燃料, 亚洲、非洲通常将粟类作物作为食物, 欧美多作为饲料。在非洲粟类作物是主要的碳水化合物和蛋白质来源。与其他主要粮食作物相比, 粟类作物富含膳食纤维、蛋白质、矿物质、植物化学物质

和多酚等营养成分, 如龙爪稷钙含量相对较高, 谷子和小黍子铁含量较高, 谷子、食用稗、糜子蛋白质含量较高, 谷子、小黍脂肪含量低, 谷子、食用稗、小黍粗纤维较多 (表 5); 此外粟类作物含有较多的单不饱和和多不饱和脂肪酸, 例如龙爪稷主要的脂肪酸是油质 (49%)、亚油酸 (25%) 和棕榈酸, 谷子麸皮中也同样含有较多的油酸和亚油酸。粟类作物也是 B 族维生素—硫胺素、核黄素、烟酸的良好来源<sup>[1]</sup>。

表 5 粟类作物与其他谷物营养成分对比<sup>[1]</sup>

Table 5 Proximate composition of millets and other cereals<sup>[1]</sup>

/100 g

| 作物  | 能量/kcal | 碳水化合物/g | 蛋白质/g | 脂肪/g | 粗纤维/g | 矿物质/g | 铁/mg | 钙/mg | 锌/mg | 磷/mg | 钾/mg | 镁/mg | 叶酸/ $\mu$ g |
|-----|---------|---------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 珍珠粟 | 361     | 67.5    | 11.6  | 5.0  | 1.2   | 2.3   | 8.0  | 42   | 3.1  | 296  | 307  | 137  |             |
| 龙爪稷 | 328     | 72.0    | 7.3   | 1.3  | 3.6   | 2.7   | 3.9  | 344  | 2.3  | 283  | 408  | 137  | 36.11       |
| 谷子  | 331     | 60.9    | 12.3  | 4.3  | 8.0   | 3.3   | 2.8  | 31   | 2.4  | 290  | 250  | 81   | 34.66       |
| 糜子  | 341     | 70.4    | 12.5  | 1.1  | 2.2   | 1.9   | 0.8  | 14   | 1.4  | 206  | 113  | 153  | —           |
| 食用稗 | 307     | 65.5    | 6.2   | 2.2  | 9.8   | 4.4   | 5.0  | 20   | 3.0  | 280  | —    | 82   | —           |
| 库都粟 | 309     | 65.9    | 8.3   | 1.4  | 9.0   | 2.6   | 0.5  | 27   | 0.7  | 188  | 144  | 147  | 39.49       |
| 小黍  | 341     | 67.0    | 7.7   | 4.7  | 7.6   | 1.5   | 9.3  | 17   | 3.7  | 220  | 129  | 133  | 36.20       |
| 糙米  | 345     | 78.2    | 6.8   | 0.5  | 0.2   | 0.6   | 0.7  | 10   | 1.4  | 160  | —    | 90   | 9.32        |
| 全麦  | 341     | 69.4    | 12.1  | 1.7  | 1.9   | 2.7   | 4.9  | 48   | 2.2  | 355  | 315  | 132  | —           |
| 玉米  | 342     | 66.2    | 11.1  | 3.6  | 2.7   | 1.5   | 2.3  | 10   | 2.8  | 348  | 286  | 139  | —           |

正因为粟类作物富含多种对健康有益的活性组分, 因此关于粟类作物的健康功效研究是近年来的热点, 人群干预及动物试验均表明粟类作物具有抗衰老、降低血糖、抗高血压、抗癌、预防心血管疾病、降低炎症反应、改善钙缺乏、抗氧化、调节肠道微生物群等多种功效<sup>[6-11]</sup>。从粟类作物中提取的膳食纤维、多酚、黄酮类物质等同样具有健康功效<sup>[12]</sup>。但是应该注意到, 粟类作物中含有许多抗营养因子, 如单宁、植酸、胰蛋白酶抑制剂、淀粉酶抑制剂、粗纤维等, 对于这些抗营养因子, 通常可以通过脱皮、浸泡、发芽、

发酵等加工方法去除<sup>[1]</sup>。加工不仅能去除部分抗营养因子, 而且通过去皮、浸泡、发芽/麦芽、碾磨、发酵等不同加工方法也能导致营养成分、风味、质构及消化率的变化<sup>[13-16]</sup>, 进而实现提高适口性、抑制粟类食品中脂肪酶的活性, 延缓水解和氧化酸败, 延长货架期的目的<sup>[17-18]</sup>。使消费者喜爱粟类食物, 增加摄入量, 才能发挥粟类作物的健康功效, 因此了解粟类作物中蛋白质、淀粉等的品质特性, 筛选适口性好的品种, 提升粟类食品的品质, 创新开发新食品<sup>[19-22]</sup>, 同样是非常重要的研究方向。

## 4 粟类产品的消费市场

### 4.1 传统粟类食品消费市场

亚洲、非洲是主要的粟类食品消费市场,尽管各国种植的粟类作物品种不同,但是民间食用方法相差不大(图6)。粟米粥是各国食用粟类的常用方法,如我国的小米粥、印度的 Khichdi(稠度介于粥饭之间,常作为婴儿最早食用的固体食物)、porridge(汤粥)等;此外,将粟米磨成粉与其他原料如豆粉等混合调成面糊经发酵后蒸熟,则成为印度常食用的 Idli(蒸米浆糕),或者烤熟成为我们熟知的软糕(Muffins);将粟米磨成粉烙成饼,则称为 pancake,蘸着咖喱酱汁吃,则称为 chapati。当然也可作为蛋糕、沙拉等的点缀。

### 4.2 工业化粟类产品市场

工业化产品更能体现现代食品加工技术的作用。对于粟类作物来说,加工成与稻米、小麦等类似的产品,也是常规的做法,如粟米面条、爆粟米花、粟米冲调糊、粟米速食粥、粟米饮料等。充分利用粟类作物的营养功能成分,开发粟类保健品、化妆品等也均出现在国内外市场(图7)。例如黍素是粟中主要的三萜类物质,能促进角化细胞的代谢和增殖,有研究表明,经过12周的补充黍素改善了头皮干燥状况,可以帮助防止和/或限制女性脱发<sup>[23]</sup>,在研究基础上一种含有粟类提取物的护发素也获得了专利<sup>[24]</sup>,含有粟米提取物的强化发毛的洗发液、护发素等产品也上市销售,基础研究助力了产品开发。



图6 传统粟类食品<sup>[13]</sup>

Fig.6 Traditional millets food<sup>[13]</sup>

注: 图片来源 <http://www.google.com.cn>。

Note: Images Sources: <http://www.google.com.cn>。



图7 工业化粟类产品

Fig.7 Industrialized millet products

注: 图片来源 <http://www.google.com.cn>。

Note: Images Sources: <http://www.google.com.cn>。

## 5 结论

尽管全球范围内粟类作物种植面积整体下降,但产量一直处于稳定的水平,高产品种的创制,种植技术的提升,使得单产稳步提高。相对发达国家对基础研究非常重视,即便不是主粮且不食用,也同样投入了大量的研究力量。从论文资助标注上看,我国自然科学基金资助了较多的粟类作物研究,相较于植物科学领域的资助,食品科学技术领域的资助较少,但整体上看食品科学技术领域发表的论文并不少。

粟类作物是耐贫瘠、抗旱的作物,且富含多种对健康有益的活性组分,具有抗衰老、预防心血管疾病、促进生发等多种功效。我国居民膳食指南推荐每日摄入 50~150 g 全谷物及杂豆、50~100 g 薯类,但 2015 年的调查显示,我国居民杂粮消费率为 39.9%,人均摄入量为(21.7±42.14) g/d,薯类食物消费率为 50.5%,人均摄入量为(32.8±46.4) g/d<sup>[25]</sup>。均未达到推荐的最低摄入量。因此从促进粟类作物乃至整体杂粮的消费,助力健康中国早日实现的角度,应进一步强化基础研究,做好知识产权保护,加大产学研商的合作。促进技术推广,实现产业升级。

## 参考文献:

- [1] ANIL K, MANOJ K T, DINESH J, et al. Millets and millet technology[M]. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2021: 2+35+86-87+112-114.
- [2] 王计平编著. 谷子科学种植技术[M]. 中国社会科学出版社, 2006: 8. WANG J P. Millet scientific planting technology[M]. China Social Publishing House, 2006: 8.
- [3] 赵美丞, 刁现民. 谷子近缘野生种的亲缘关系及其利用研究[J]. 中国作物学报, 2022, 48(2): 267-279. ZHAO M C, DIAO X M. Phylogeny of wild *Setaria* species and their utilization in foxtail millet breeding[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48(2): 267-279.
- [4] 韩茂莉. 世界农业起源地的地理基础与中国的贡献[J]. 历史地理研究, 2019, 1: 4-124+163. HAN M L. Geographical fundamentals of worldwide origination of agriculture and contributions from China[J]. *The Chinese Historical Geography*, 2019, 1: 4-124+163.
- [5] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 中国谷子产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2020, 54: 459-470. LI S G, LIU F, LIU M, et al. Current status and future prospective of foxtail millet production and seed industry in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 54: 459-470.
- [6] KUMAR A, RANI M, MANI S, et al. Nutritional significance and antioxidant-mediated antiaging effects of finger millet: molecular insights and prospects[J]. *Frontiers in sustainable food systems*, 2021, 5: 684318.
- [7] REN X, YIN R Y, HOU D Z, et al. The glucose-lowering effect of foxtail millet in subjects with impaired glucose tolerance: a self-controlled clinical trial[J]. *Nutrients*, 2018, 10(10): 1509.
- [8] NITHIYANANTHAM S, KALAISELVI P, MAHOMOODALLY M F, et al. Nutritional and functional roles of millets-A review[J]. *Journal of food biochemistry*, 2019, 43(7): 12859.
- [9] MAJID A, PRIYADARSHINI C G P. Millet derived bioactive peptides: A review on their functional properties and health benefits[J]. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2019, 60 (19): 3342-3351.
- [10] TEMBA G S, KULLAYA V, PECHT T, et al. Urban living in healthy Tanzanians is associated with an inflammatory status driven by dietary and metabolic changes[J]. *Nature immunology*, 2021, 22: 287-300.
- [11] MAHARAJAN T, CEASAR S A, KRISHNA T P A, et al. Finger millet[*Eleusine coracana* (L.) Gaertn]: an orphan crop with a potential to alleviate the calcium deficiency in the semi-arid tropics of Asia and Africa[J]. *Frontiers in sustainable food systems*, 2021, 684447.
- [12] 朱俊玲, 梁凯, 闫巧珍, 等. 小米多酚的分离纯化及其组分分析[J]. 中国粮油学报, 2021, 2: 34-40. ZHU J L, LIANG K, YAN Q Z, et al. Isolation, purification and component analysis of polyphenols from millet[J]. *Journal of the Chinese cereals and oils association*, 2021, 2: 34-40.
- [13] YOUSAF L, HOU D Z, LIAQAT H, et al. Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing[J]. *Food research international*, 2021, 142(3): 110197.
- [14] ANNOR G A, TYL C, MARCONE M, et al. Why do millets have slower starch and protein digestibility than other cereals? [J]. *Trends in food science & technology*, 2017, 66: 73-83.
- [15] MITHARWAL S, KUMAR S, CHAUHAN K. Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (*Eleusine coracana* L.) with its potential food applications: A review[J]. *Food Bioscience*, 2021, 44: 101382.
- [16] BI S, WANG A J D, WANG Y P, et al. Effect of cooking on aroma profiles of Chinese foxtail millet (*Setaria italica*) and correlation with sensory quality[J]. *Food chemistry*, 2019, 289: 680-692.
- [17] KUMAR R R, BHARGAVA D V, PANDIT K, et al. Lipase-The fascinating dynamics of enzyme in seed storage and germination-A real challenge to pearl millet[J]. *Food chemistry*, 2021, 361: 130031.
- [18] ASRANI P, ALI A, TIWARI K. Millets as an alternative diet for gluten-sensitive individuals: A critical review on nutritional

- components, sensitivities and popularity of wheat and millets among consumers[J]. Food reviews international, 2021, online, DOI: 10.1080/87559129.2021.2012790.
- [19] 肖琳, 付月, 王美婷, 等. 薏米醪糟发酵过程中代谢产物的分析[J]. 中国食品学报, 2021, 10: 233-239.  
XIAO L, FU Y, WANG M T, et al. Analysis of metabolites during the fermentation process of barley mash[J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2021, 10: 233-239.
- [20] 晁桂梅, 周瑜, 高金锋, 等. 粳性和糯性糜子淀粉的理化性质[J]. 中国粮油学报, 2016, 11: 13-19.  
CHAO G M, ZHOU Y, GAO J F, et al. Physicochemical properties of starch from non-waxy proso millet and waxy proso millet[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 11: 13-19.
- [21] JHAN F, GANI A, NOOR N, et al. Characterisation and utilisation of nano-reduced starch from underutilised cereals for delivery of folic acid through human GI tract[J]. Science Report, 2021, 11: 4873.
- [22] 张凡, 李书田, 王显瑞, 等. 不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J]. 食品科学, 2020, 9: 23-29.  
ZHANG F, LI S T, WANG X R, et al. Comparative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties[J]. Food Science, 2020, 9: 23-29.
- [23] KEOPHIPHATH M, COURBIÈRE C, MANZATO L, et al. Miliacin encapsulated by polar lipids stimulates cell proliferation in hair bulb and improves telogen effluvium in women[J]. Journal of cosmetic dermatology, 2020, 19(2): 485-493.
- [24] 南育宏. 毛发质量改善剂[P]. JP2019210244A.  
NAN Y H. Hair modifier[P]. JP2019210244A.
- [25] 张伋, 姜红如, 黄绯绯, 等. 2015 年中国十五省(区、市)18~59 岁居民谷薯类食物摄入状况[J]. 营养学报, 2018, 40(2): 115-121.  
ZHANG J, JIANG H R, HUANG F F, et al. Cereals and tubers intake in Chinese adults aged 18-59 from 15 provinces in 2015[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2018, 40(2): 115-121. ㉟
- 备注: 本文的彩色图表详见本期 PC9, 也可从本刊官网(<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。