

中国

黍稷栽培

◎ 刘小进 马春红 王金明 主编

非外借

中国农业科学技术出版社

中国

黍稷栽培

◎ 刘小进 马春红 王金明 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国黍稷栽培 / 刘小进, 马春红, 王金明主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-5116-3937-0

I. ①中… II. ①刘… ②马… ③王… III. ①糜子-栽培技术-中国 IV. ①S516

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 287385 号

责任编辑 于建慧
责任校对 马广洋

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82109708 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)
传 真 (010) 82106650
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 北京建宏印刷有限公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 13.25
字 数 356 千字
版 次 2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷
定 价 60.00 元

◀ 版权所有 · 翻印必究 ▶

编 委 会

策 划：曹广才（中国农业科学院作物科学研究所）

主 编：刘小进（延安市农业科学研究所）

马春红（河北省农林科学院遗传生理研究所）

王金明（延安市农业科学研究所）

副主编（按汉语拼音排序）：

王改改（延安市农业科学研究所）

赵 璞（河北省农林科学院遗传生理研究所）

编 委（按汉语拼音排序）：

刁 瑛（延安市农业科学研究所）

封 伟（延安市农业科学研究所）

李海涛（延安市农业科学研究所）

李 霞（延安市农业科学研究所）

马红霞（河北省农林科学院遗传生理研究所）

谭爱萍（延安市农业科学研究所）

温之雨（河北省农林科学院遗传生理研究所）

阎立波（河北省农林科学院遗传生理研究所）

杨 霞（延安市农业科学研究所）

殷 霞（延安市农业科学研究所）

张 强（延安市农业科学研究所）

周 军（延安市农业科学研究所）

作者分工

前言	刘小进
第一章	
第一节	王金明, 王改改, 李海涛
第二节	王金明, 王改改, 杨霞
第二章	
第一节	王改改, 殷霞, 封伟
第二节	赵璞, 马春红, 温之雨, 马红霞
第三章	
第一节	王改改, 封伟, 殷霞, 杨霞
第二节	王改改, 谭爱萍, 李霞
第四章	
第一节	马春红, 赵璞, 阎立波, 温之雨, 马红霞
第二节	赵璞, 马春红, 温之雨, 马红霞
第五章	
第一节	刘小进, 周军, 张强
第二节	刘小进, 谭爱萍, 刁琪
全书统稿	曹广才

前 言

黍稷，禾本科黍属一年生草本植物。黍稷同种，籽粒硬者古称稷、稯，现称糜子、稷子；籽粒糯者古称黍，现称黍子、粘糜子或黄粟。其生育期短，节水、抗旱、耐热、耐瘠薄，能备荒救灾，复种增收，是起源于中国最古老的农作物，也是中国重要的小宗粮食作物之一。

黍稷有很高的营养价值、食用价值和药用价值。黍稷籽粒中含有丰富的蛋白质、脂肪、氨基酸、维生素和矿物质元素，是一种营养价值很高的粮食作物，很有开发价值。黍稷易吸收，适口性好，食用价值较高，食用方法多种多样，风味各异。黍稷性味甘、平、微寒、无毒，功效入脾、胃、大肠、肺经，功能补中益气、健脾益肺、凉血解暑，主治脾胃虚弱、肺虚咳嗽、呃逆烦渴、泻、胃疼、气虚乏力、中暑、头疼等症，是一种食药同源作物。

中国黍稷在世界黍稷生产中占有重要地位，种植历史悠久，有 7 000 多年的栽培历史。随着农业供给侧结构性改革的推进以及农业部 2015 年《关于镰刀弯地区玉米结构调整的指导意见》的出台，各主产区对黍稷产业的支持力度不断加大，种植大户、农民专业合作社等的种植意愿显著提高，近几年黍稷种植面积稳步增加，约为 60 万 hm^2 。黍稷产业发展迅速，开发利用价值较高，市场占有率和售价稳中有升，出口贸易平稳，前景广阔。开展黍稷绿色增产模式攻关，系统总结黍稷栽培技术经验，指导黍稷大规模生产，着力推动黍稷增产增效、节本增效、提质增效成为当下黍稷科学研究与生产实践的重中之重。

黍稷是高效节水作物，在中国北方各地均有种植，在西北、华北和东北一些干旱、半干旱地区具有明显的地区优势和生产优势。发挥地方优势，优化种植结构，加大科技投入，加快研究步伐，提升科技对黍稷产业发展的支撑能力，将传统技术与现代工艺有机结合起来，对促进区域农业可持续发展，实现现代农业、绿色农业有重要的现实意义。因此，河北省农林科学院遗传生理研究所和延安市农业科学研究所数十名科研人员共同撰写本书，全面系统地介绍了中国黍稷栽培的理论与成果，为发展抗旱节水农业、实现黍稷优质高效生产添砖加瓦。

全书由 5 章组成，全面阐述了黍稷种质资源、生产布局、生育进程、生育过程的碳氮代谢、常规栽培技术、特色栽培技术、生物胁迫及其应对、非生物胁迫及其应对、品质和利用等方面的内容，贯穿了黍稷生产的各个环节，内容丰富，资料翔实，全面反映了当代中国黍稷栽培方面的基本理论和研究成果，具有重要的参考价值。

本书编写时参阅了许多同行的著作和研究文献，在此向他们对知识传播和人才培养的贡献表示崇高的敬意和衷心的感谢！

尽管编者在编写时力求避免错误和不足，并力求各章内容的准确协调和有机衔接，但书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请广大读者在使用过程中随时提出宝贵意见，以便及时补遗勘误。

本书得到国家重点研发计划（2017YFD0300400）、科技部科技伙伴计划（KY201402017）、

目 录

第一章 中国黍稷种质资源和生产布局	(1)
第一节 种质资源	(1)
第二节 中国黍稷生产布局	(26)
本章参考文献	(30)
第二章 黍稷生长发育	(33)
第一节 生育进程	(33)
第二节 黍稷生育过程的碳、氮代谢	(43)
本章参考文献	(55)
第三章 中国黍稷实用栽培技术	(58)
第一节 常规栽培技术	(58)
第二节 特色栽培技术	(93)
本章参考文献	(101)
第四章 环境胁迫及其应对	(106)
第一节 生物胁迫及其应对	(106)
第二节 非生物胁迫及其应对	(157)
本章参考文献	(166)
第五章 黍稷品质和利用	(173)
第一节 黍稷品质	(173)
第二节 黍稷的利用	(186)
本章参考文献	(201)

第一章 中国黍稷种质资源和生产布局

第一节 种质资源

一、黍稷起源和在中国种植历史

(一) 黍稷起源

黍稷是中国也是世界上最古老的作物之一，考古发现较早而多，从西部新疆维吾尔自治区（全书简称新疆）到东部黑龙江的新石器遗址中，都有黍稷的遗迹。迄今为止，年代最早的是甘肃省秦安大地湾一期文化遗址，发现的黍稷碳化种子经北京大学考古教研室 C¹⁴测定，约为公元前 5200 年，距今已有 7 000 多年。黍稷的考古发现年代较早的还有辽东新乐遗址，黍稷碳化种子距今有 6 000 多年。此外我国考古工作者还在不少遗址中发现黍稷碳化种子。中国是世界上黍稷考古发现年代最早，资料最丰富的国家。

黍稷有两种类型，糯者为黍，也称黍子；粳者为稷，也叫糜子。黍稷是由野生稷进化而来，据内蒙古自治区（全书简称内蒙古）、山西、黑龙江等省（自治区）对栽培黍稷生态性状的研究表明，在人工选择的条件下，栽培黍稷是从小粒向大粒、厚壳向薄壳、易落粒向不易落粒、胚乳粳性向糯性方向进化的，说明栽培黍稷是从具有原始性状的野生稷进化而来。同时，从细胞学和遗传学的研究也进一步使这一论断得到证实。从其进化过程来看，最初作为野草的野生稷，籽粒是粳性的，没有糯性的，只能叫作野生稷。由野生稷进化为栽培稷，在各类禾本科野草中，不论其生育期、抗旱性、耐瘠性和籽粒产量上都有明显的优势，被当时原始人类作为最早赖以生存的采集植物。

黍稷起源于中国。糜子是最早被人类驯化的栽培作物之一，是世界上栽培最古老的黍稷类作物。国外最早出土的糜子遗迹出现在希腊的阿尔基萨（Argissa）遗址，距今 5 000~6 000 年。据中国学者吕厚远等（2009）利用植硅体方法对河北省武安磁山文化遗址出土灰化物的研究表明，中国北方糜子的驯化可以早到距今 10 000 年前，在糜子的起源与传播问题上，一般认为糜子起源于东亚及地中海，但学术界存在较大分歧，有学者认为黍的祖先种在欧亚大陆广泛分布，其起源可能是多中心的。关于糜子的起源国外存在三种主要的观点。第一种以博物学家林奈为代表，认为糜子原生于印度，但缺乏证据支持；第二种以德康多尔（De Candolle）和赫尔拜克（Halback）为代表，他们以野生糜子的存在与否作为依据，认为糜子原生于埃及阿拉伯地区，然后传到印度，再由印度传到中国；第三种以苏联学者瓦维洛夫、美国学者柯炳棣等为代表，认为中国是栽培糜子的古代初基因中心，糜子是从中国传到欧洲。日本学者星川清亲也持这种观点，认为糜子的原产地靠近中亚的东亚大陆性气候地区，然后随着古代民族的迁徙向西方传播，是在中石器时代（公元前 8000 至公元前 400 年）至新石器时代（公元前 4000 年）向欧洲传播的。中国学者根据考古发现和最早的文字记载及广泛分布的糜子野生近缘种，几乎都认为中国是糜子的起源中心。

中国是世界上糜子考古发现最早、考古资料最丰富的国家，糜子考古遗迹以黄河下游为中心，西到新疆，东到黑龙江。最早出土于甘肃省秦安大地湾一期文化遗址的碳化糜子种子，据北京大学考古研究室测定距今7 370~8 170年。糜子考古发现年代较早的遗迹还有河南省新郑裴李岗遗址的糜子碳化种子，距今(9 300±100)年，辽宁省新乐遗址发现的碳化糜子籽粒距今6 000年，山东省长岛北庄遗址黍壳标本年代为公元前3500年，陕西省临潼姜寨遗址发现的黍壳及灰色朽粉距今5 000~5 500年(鉴定确认是黍)，甘肃省东乡马家窑遗址出土的糜子距今5 000年左右(是目前最为完整的年代较早的糜子考古标本)。此外，糜子考古发现还有辽宁省北票下夏家店遗址发现的黍粒，甘肃省青岗岔遗址发现的黍及其草秸，青海省民和核桃庄遗址发现的黍粒，新疆维吾尔自治区和硕新塔拉遗址和黑龙江省东康遗址发现的碳化黍粒，南方其他地方尚未发现糜子遗迹，但湖南省马王堆古墓中发现有糜子遗迹，距今2 000多年。国外其他国家也发现过糜子遗迹的考古资料，也曾发现糜子的痕迹，国外发现较早的糜子遗迹有3处，一是欧洲幼发拉底河和底格里斯河流域的捷姆迭特·纳斯尔遗址发现的糜子遗迹，年代为公元前3000年；二是中欧线纹文化晚期的德国朗威勒遗址发现的糜子遗迹，年代为公元前3000年左右；三是希腊塞利萨中部的阿尔基萨遗址发现的碳化糜子种子，年代为公元前6000至公元前5000年。从糜子考古史料不难看出，中国糜子考古发现不但早而丰富，而且中国现存糜子考古发现呈现的中心地区年代较早西周较晚的格局，也说明糜子起源于中国的可能性很大。近年中国学者吕厚远(2009)对河北省武安磁山文化遗址的考古研究结果更是支持了糜子中国起源的结论。

中国古代也非常重视糜子品种的选育工作。中国是最早有糜子品种记载的国家之一。早在3 000年前的殷商时期，甲骨文就有糜子品种的记载，1700年前西晋郭义恭撰写的《广志》中，详细记载了当时种植的14个糜子品种：“有牛黍，有稻尾黍、秀成赤黍，有马革(五)大黑黍，有柎黍，有温屯黄黍，有白黍。”中国近代糜子品种改良是1940年后开始的，当时绥远省第一农事试验场(今内蒙古自治区巴彦淖尔市临河区狼山镇)、陕甘宁边区的光华农场(今陕西省延安市农业科学研究所)先后从地方糜子品种中鉴选出一批优良品种在当地进行推广，其中种植面积较大的是1947年绥远省第一农事试验场李纪选出的狼山462和米仓155，这些品种曾是内蒙古的巴彦淖尔市、乌兰察布市前山地区和土默川平原的主栽品种。

(二) 黍稷种植历史

根据考古资料和众多文献报道，认为黍稷的种植历史久远，众说纷纭。

黍稷的起源地有各种各样的说法，但对中国是黍稷栽培历史最悠久的国家这一点，各国科学家却几乎没有什么异议。但中国何时开始栽培黍稷，现在尚未做出确切的结论。有说7 000年左右的，也有说8 000~9 000年的，也有说5 000年左右的，甚至有说10 000多年的。多数认为有7 000年以上的历史。自有文字记载以来，就有关于黍稷种植的记述。

中国记载黍稷最早的文献是已经失传的《神农书》，该书的“八谷生长篇”中写道：“黍生于榆。出于大梁之山左谷中。生六十日秀。四十日熟。凡一百日成。忌于丑”。“黍生于寅。疾于年。长于丙丁。老于戊。死于申。恶于壬，忌于丑”。说明在公元前5世纪黍稷种植水平已相当高，对黍稷生长发育特点有了较详细的记录。可见中国劳动人民当时已经掌握了黍稷的栽培技术，说明黍稷在当时粮食生产中占有非常重要的位置。

自公元前1世纪以来，大量的史书、农书医书、诗文等都有很多黍稷记述。西汉的《汜胜之书》(公元前1世纪)“黍者暑也，种者必待暑，先夏至二十日，此时有雨，疆土可种黍，一亩三升”。“黍心未生，雨灌其心，心伤无实”。“黍心初生，畏天露，今两人对持长索，搜去其

露，日出乃止”。“凡种黍，覆土锄治，皆如禾法，欲疏于禾”。东汉的《汉书·沟洫志》（1世纪）“……泾水一石，其泥数斗，且灌且粪，长我禾黍”。东汉的《四民月令》（2世纪）“四月蚕入簇，时雨降，可种黍禾，谓之上时，夏至先后各二日可种黍。虫食李者，黍贵也。”西晋的《广志》（公元370年左右）“有牛黍、有稻尾黍、秀成赤黍、马革大黑黍……”。南北朝后魏贾思勰的《齐民要术·黍稷第四》（公元600年左右）“凡黍稷田。新开荒为上。大豆底为次。谷底为下。地必欲熟。”“一亩用四升。三月上旬种者为上时。四月中旬为中时。五月上旬为下时。夏种黍稷。与植谷同时……”，“苗生垄平。即宜耙耨。锄三遍乃止。锋而不耕。刈稷欲早。刈黍欲晚……”，可以看出《齐民要术》中的糜子栽培技术已比《汜胜之书》中记载的有了很大发展。《晋书》（公元646年）“河东大蝗。唯不食黍豆。靳准率部人收而埋之……后乃钻土飞出。复食黍豆。平阳饥甚。”《农桑撮要》（1314年）：“二月种黍稷。新开豇田为上。一亩用子四升。春分前后。宜用灰土和子种。频耨。三五窠作一丛……黍稷熟时炊饭。又可酿酒。舂碎蒸糕。以备日用。春后皆可种。”《元史》（1370年）：“[至元]二十七年六月。棣州馱次济阳二县。大雨雹伤禾、黍、菽、麦、桑、枣”。《本草纲目》（1578年）：“刈后剩湿即打。则稗易脱。迟则稗着粒上难脱。”《养徐月令》（1640年）：“黍稷，新开豇田为上。……春后亦可种。但早者得子多耳。”《农蚕经》（1705年）：“三、四、五月皆可种黍。然勿太早。谷雨后种子。刈宜早。黍稷过熟。遇风则落。麦楂中种者。收稍俭。不如植者。种时砘二次。出后再一次。苗宜老剃。后清晨带露锄。则铁青不秀穗。”《马首农言》（1836年）在种植中写道：“……有大小白黍，大小红黍、大小黑黍之别。大者先种后熟。其粒大耐风。小者后种先熟。不耐风。……先耕一次宜深。种时再耕宜浅。虽一寸亦可。下子亩六、七合。耙二次。先以木板拖之。恐其没纹。后复砘之。地喜匀和。忌土块。俗云。稠糜勿阑黍。……锄亦不必深。验老嫩如验谷法。”，“芒种急种黍。夏至也不迟……麦子种泥條。黍子种乾土。麦种场。黍种汤。……好黍不见叶。好谷不见穗。”。《植物名实图考》（19世纪中）：“黍稷盛产于西北。河南朔已不编植。”。

上述史料表明，中国很早就对糜子的品种类型、生长特点、生长环境条件、茬口、播种期、播种量、土壤耕作、田间管理及长势长相、收获贮藏、食品加工、灾害天气及地区分布等有详细的记载。史实表明，中国是种植糜子最早的国家，糜子是中国古代主要粮食作物。

糜子是中国最古老的作物之一，也曾是中国西北、东北、华北地区的主要粮食作物。自汉代以后，随着农业生产技术的进步，铁农具和牛耕的推广，灌溉农业的发展以及人口的猛增，人们有可能大量种植生育期较长、产量更高、品质更好，并且适宜在土、肥、水条件较好土地上栽培的谷子、大豆、水稻、小麦及玉米等作物。因而逐渐对在适宜于旱、薄地上生长的糜子的生产技术和科学研究失去重视，在投入的人力、物力方面远不及上述作物，致使糜子种植面积一直呈下降趋势。

二、植物分类地位

黍和糜为禾本科（Gramineae）黍属（*Panicum*）的同一物种，总称“稷”，学名皆为 *Panicum milliaceum* L. 但两者是两个变种。按糯与不糯来区分，其中，黏性的（糯性）为黍 *Panicum milliaceum* var. *contractum*，不黏的（粳性）为糜 *Panicum milliaceum* var. *compactum*，一般通称黍稷。《中国植物志》介绍，黍属约有500种，分布于世界热带和亚热带，少数分布在温带。中国有18种，2个变种。

三、形态特征和生活习性

(一) 形态特征

1. 根

(1) 根的种类 黍稷的根系为须根系，丛生状。按根的外部形态、发生时期、部位与功能的不同分为种子根（胚根）和次生根（节根）（图 1-1，图 1-2）。

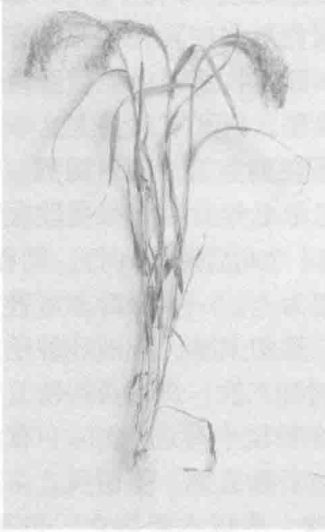


图 1-1 黍子植株形态
(王金明, 2018)



图 1-2 糜子植株形态
(王金明, 2018)

种子根是黍稷种子胚中的幼根，在种子萌动发芽时，种子根首先突破种皮后形成。由于种子根是最早形成的根，因此又称为初生根。种子根只有一条，入土后可长出许多纤细的分枝。节根着生在茎节间分生组织基部。生在地下茎节上的称为地下节根或次生根；生在地上茎节上的称为地上节根或支持根、气生根。节根在植物学上称为不定根。黍稷根系中各条根的粗细相差不多，呈丛生状体，故属须根系。

(2) 根的形态 黍稷的胚根垂直向下生长，入土后能长出许多纤细的分枝。胚根最初呈白色，随着根的生长、伸长，逐渐老化，颜色呈褐色或黑褐色。黍稷胚根生长迅速，当地上部只有 3~4 片叶子时，种子根入土深度可达 40~50cm，这是黍稷幼苗高度抗旱的原因之一。初生根是黍稷幼苗出土最初 10~15d 内起主要吸收作用的根系，在苗期干旱条件下，只要初生根不被破坏，幼苗就不会干旱而死。

当黍稷幼苗长出 2~3 片叶子时，在地下分蘖节上开始依次形成次生根，它是黍稷一生中赖以生存的主要根系。次生根由分蘖节形成，每条根上能发生许多侧根，是黍稷全生育期主要的根系，也是土壤中吸收养分和水分的主要器官。次生根在抽穗前形成，从基部开始依次向上生出 3~7 层次生根，主茎次生根数为 20~50 条，全株的次生根最多可达 50~100 条。黍稷次生根的数量因品种及环境条件的差异发生变化，其健壮与否直接关系到糜子产量的高低。在初生根和次生根之间有一段根状茎，栽培上称根茎。在种子发芽时，根节伸长，推动幼芽出土，当它伸到地表下一定距离时停止伸长。播种浅时，根茎变短，播种深时，根茎变长，这种自动调节作用，可使节根位置处于较适宜的土层中。

支持根是次生根的一种，一般指黍稷拔节后，发生在近地面的 1~2 个茎节上形成的根系。

支持根地下节根粗壮而坚韧，具有色素，表皮角质化，厚壁组织特别发达，入土前在根尖端常分泌黏液，入土后才产生分枝和根毛，起到吸收根的作用。田间温度高或地面湿度大时容易形成支持根，入土浅，但粗而坚硬支持力强，对防止植株倒伏具有重要作用。

黍稷的根系为须根系，根系入土较其他作物浅，入土深度 80~100cm，扩展范围 100~150cm。主要根群分布在 20~50cm 土层内，其中又以 0~20cm 内根系最多。据测定，黍稷在 0~10cm 土层中根系量占全根重量的 79.6%。黍稷的根系不仅具有吸收、运输养分和水分的功能，而且还有支持植株的作用。土壤养分和水分状况、整地质量、种子生活力强弱等因素对根系的发育影响很大。因此，要创造适宜于根系生长的土壤环境，使黍稷根系发育良好，为黍稷丰产打好基础。

2. 茎

(1) 茎的种类 黍稷的茎有 3 种，主茎、分蘖茎和分枝茎。黍稷的茎是由胚芽发育而成的，有一个主茎和 1~3 个分蘖茎。主茎由胚芽突出地面后拔节。主茎地下部分的 3~5 个节，节间密集，称为分蘖节，可以产生分蘖。还有一些早熟品种，在地上部茎节上不定位地长出分枝茎。

黍稷的分蘖茎和分枝茎的多少与品种特性、播种深度、土壤肥力、水分等因素有关。一般植株可产生 1~5 个分蘖，在稀植干旱情况下，最多可达 20 个以上，但最终只有 1~3 个分蘖可以发育成穗。分蘖茎是由地下分蘖节上腋芽发育而成的多个茎。分枝茎是地上部茎节上不定芽长出的枝。它是在主茎圆锥花序出现后才出现的，一般早熟品种分枝多，中晚熟品种分枝少。同一植株分枝成熟很不一致，且分枝穗小，结实率低，籽粒不饱满，对提高产量没有太大意义。由于主茎与分蘖、分枝的茎高和籽粒成熟时间差异较大，因此，在生产上要适当控制分蘖和分枝，防止无籽穗和秕粒。

(2) 茎的形态 黍稷为直立茎，茎的高矮因品种、土壤、气候和栽培条件不同而有很大差别。矮秆类型株高只有 30~40cm，高秆类型株高可达 200cm 以上。茎粗 5~7mm，茎壁厚 1.5mm 或更厚。茎的颜色有绿色和紫色两种。此外，黍稷茎秆表面着生茸毛，特别是中下部裸露部分茸毛较多，茎节处最为密集。一般认为，茸毛是黍稷抗旱、抗风沙、抗病菌的重要性状。

黍稷的茎秆由若干节和节间组成，每节生长一片叶子，茎节数与叶片数相应地变化在 7~16 节范围内。地面以下 3~5 节的节间非常密集，为分蘖节，地上有 5~11 个茎节。节间数目的多少与品种特性、土壤肥力和播种早晚有关。

黍稷的茎是输送养分和水分的主要器官。茎还能支撑叶片，使之在空中均匀分布，便于吸收阳光和 CO_2 ，更好地进行光合作用。

3. 叶

黍稷是单子叶植物，其叶由叶片、叶鞘、叶舌、叶枕等部分组成。叶互生，无叶耳。叶片是叶的主要部分。第一片真叶顶端稍钝呈椭圆形，其余叶片为条状披针形。叶片上有明显的中脉和平行的小脉，叶片边缘为波浪状，但也有为平直的。叶片的上下表皮都有浓密的茸毛。叶鞘是叶片和茎的通道，在叶片的下方，包围茎的四周，两缘重合部分为膜状，其边缘着生浓密的茸毛。叶鞘起着保护茎秆及输导养分和水分的作用。叶舌是叶鞘和叶片结合处内侧的茸毛部分，能防止雨水、昆虫和病原孢子落入叶鞘内，也具有保护茎秆的作用。叶枕是叶鞘和叶片相接处外侧稍突起的部分，具有弹性和伸展性，借以调节叶片位置。

黍稷叶片颜色一般为绿色，但深浅不同，紫色花序品种叶片常带紫色，紫色深浅和品种有关。叶片生长在茎节上，同一植株叶片数与茎节数一致，全株叶片数一般为 7~16 片。不同节位上的叶片大小形状不同，初生的几片真叶叶片较小，长度约 10cm，宽度 1~1.5cm，这部分叶片

随着幼苗和根系的生长，在早期枯黄脱落。以后生长的较大的叶片，一般长、宽分别为 10~40cm 和 1.3~1.8cm，其寿命较长，这部分叶片一直成活到黍子成熟，对黍子的产量起着重要作用。

4. 花

黍子的小穗为卵圆形，长 4~5mm，小穗是两片护颖包被着两朵小花。第一护颖较小，有 5~7 条脉，长度为小穗长度的 1/3~1/2；第二护颖较长，与小穗等长，有 11~13 条脉。护颖包被着两朵小花，其中下面的第一朵小花发育不完全或退化，只有一个内稃和发育不完全的雌雄蕊，不能正常结实。第二朵花位于颖片和退化花之间，能正常结实。完全花是由内、外稃，2 个浆片，3 枚雄蕊和 1 枚雌蕊组成，雄蕊由子房和两个羽状分枝的柱头组成。在中国黍稷品种有单粒和双粒之分，通常单粒品种只有第二朵小花结实。但有些品种是双粒型品种，其小穗由 3 朵小花组成，第一小花退化，第二、第三朵小花为完全花，能结实，每个小穗结实两粒，此性状可以稳定地遗传给后代。

黍稷的花粉粒呈圆球形，直径约 48 (45~52) μm 。外形与小麦、水稻等禾谷类作物相似，比水稻大，与小麦相近。花粉粒为 3 个细胞型，具 1 萌发孔，内含 1 大而明显的营养核，2 精子的核较小，且大小和形状有别，其 1 较大，呈椭圆形，另 1 较小，呈圆球形。

5. 籽粒

黍子的籽粒，也就是种子，是由受精后的子房发育而成的果实，颜色有白、黄、红、灰、褐色和复色等，形状有球形、卵圆形和长圆形等。种子结构包括皮层、胚和胚乳 3 部分。

皮层由不分离的种皮（子房壁发育而成）和果皮（内珠被发育而成）组成，占种子重量的 5%~7%。皮层和稃壳一起构成加工过程中的皮壳，皮壳占籽粒总重量的百分率即为皮壳率，黍子的皮壳率一般为 15%~25%。皮壳率的高低与品种有关。皮层的作用是保护胚和胚乳，种子萌发时，水分和氧都通过皮层进入籽粒内部。黍稷脱壳后称为黄米，一般为黄色、浅黄色和白色。

胚乳位于种皮内，占种子重量的 75%~80%，由位于最外层的糊粉层和内层的淀粉层组成。糊粉层一般只有一层细胞，大而壁厚，排列整齐，主要成分为纤维和含氮物，其余是脂肪、灰分和水分。淀粉层由薄壁细胞组成，其形状大小及成分因胚乳部位不同而异。每个部位的胚乳细胞主要含大小不同的淀粉粒和蛋白质，蛋白质存在于淀粉粒之间的空隙中。由于黍稷胚乳所含的淀粉结构不同，黍稷有粳性和糯性之分。糯性胚乳组织疏松，粉质无光泽，淀粉主要是支链淀粉，直链淀粉含量较少，一般不超 2%，并有少量糊精和麦芽糖，遇碘液呈紫红色反应；粳性胚乳为角质，所含淀粉除支链淀粉外，还含有一定比例的直链淀粉，遇碘呈蓝黑色反应。

胚是种子的重要部分，为未来植株的雏形，一般占种子重量的 2%~3%。胚由胚芽、胚轴、胚根和子叶 4 部分组成。胚的上端为胚芽，胚芽的外面有一胚芽鞘，胚芽鞘顶端有一小孔的空锥体，有保护幼芽出土的作用。胚芽鞘内包裹着叶原基和茎叶的顶端生长点，可分化为茎叶。胚的下端为胚根，胚根外包裹着胚根鞘。胚芽和胚根之间由胚轴相连。在胚轴上，向胚乳的一侧生有子叶（又称盾片）紧贴胚乳，在种子萌发时从胚乳中吸收营养物质并运送到胚的生长部位。着生盾片的节和胚芽鞘的节之间的部分称胚轴。

（二）穗型

黍稷的花序为圆锥花序。通常称穗子，由主轴和许多分枝及小穗组成，主轴长 15~60cm，有的直立，也有弯向一侧，成熟后下垂。主轴上一级分枝呈螺旋形排列或基部轮生。一级分枝上可以生出二级和三级分枝，分枝上部形成小穗，小穗上结种子，一般每穗结种子 1 000~3 000 粒。分枝呈棱角性状，边缘有粗糙刺毛、上部密生小枝和小穗。黍稷花序颜色呈绿色或紫色。中

国黍稷品种以绿色花序为主，占到 80% 以上，主要分布地区有东北、西北、华北及东南和华中地区；紫色花序的品种较少，仅占 19%，主要分布在自然条件较差的地区。紫色花序品种一般茎叶带有紫色。

黍子一般最多有 5 级分枝，1 级分枝 10~40 个，分枝又长又短，有的光滑或稍有绒毛，有弹性。分枝与主轴的位置相对稳定。根据黍子花序分枝长度、紧密度、分枝角度与分枝基部的叶关节状结构的有无，将黍子穗型分为散穗型、侧穗型、密穗型等类型（图 1-3）。



图 1-3 黍稷的穗型（王金明，2018）

1. 散穗型

分枝与主轴展开角大部分在 45° 左右，穗分枝较长，并向主轴四周散开，分枝茎部有穗枕，花序略显稀疏。散穗型品种占约 19%，主要分布在有灌溉条件或雨水充沛的地区。

2. 侧穗型

分枝与主轴展开角大部分小于 35° ，多数分枝集中于主轴一侧，以长分枝为主，花序稍密。侧穗型品种占 75% 以上，各主产区均有分布，在干旱半干旱区有明显优势。黍子的圆锥花序一般为侧穗型。

3. 密穗型

分枝与主轴展开角大部分小于 35° ，多数分枝密集于主轴周围，主轴直立或稍弯曲，分枝短，花序密集。密穗型品种在中国较少，不到 6%，主要分布在热量充足的地区。

（三）黍稷生活习性

1. 生育期

生长发育速度较快，一般特早熟品种生育期在 65d 以下，早熟品种 66~80d，中熟品种 81~95d，晚熟品种 96~110d，特晚熟品种 111d 以上。生产上多用中熟品种。

2. 喜温性

种子发芽的适宜温度为 $20\sim 30^\circ\text{C}$ ，最高温度为 40°C 。植株生长最适温度为 35°C ，根生长最适温度 25°C ，开花最适宜温度为 $24\sim 30^\circ\text{C}$ ，灌浆最适宜温度为 20°C 。生育前期可耐 38°C 高温，生育后期遇 -2°C 低温就易受冻害。出苗至成熟需 60~130d，所需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 1 500~2 600℃。

3. 短日照

对光照反应敏感。在短日照条件下可以促进植株发育，生育期缩短，植株变矮小。在长日照条件下，生育期延长，植株变高。苗期阴雨生长不良，开花期连日阴雨则结实率降低。

4. 抗旱性

黍稷蒸腾系数为 255.12, 比谷子 (257.00)、高粱 (276.39) 和玉米 (337.62) 等各类作物都低。以黍稷蒸腾系数 100 计算, 谷子为 107, 高粱为 114, 玉米为 131, 大麦为 194, 小麦为 209。黍稷是禾谷类作物种耗水最低, 抗旱能力最强, 用水经济的作物。属干旱、半干旱地区的主要栽培作物。

5. 耐瘠薄

黍稷可以在各种土壤上种植, 特别是新垦荒土地上种植。与其他禾谷类作物相比, 每生产 100kg 籽实, 所需的 N、P、K 数量较少, 并能吸收土壤深层及其他作物难以吸收的养分, 对土壤养分利用率高, 在瘠薄的土地上能正常生长发育并能获得较高的产量。

6. 耐盐碱

黍稷耐盐能力高于玉米、高粱、小麦、马铃薯和大豆, 一般品种能在含盐量 0.3% 的盐碱地上生长, 个别品种能在含盐量 0.5%~0.7% 的盐碱地上生长并抽穗结实。

四、中国黍稷种质资源

(一) 种质资源丰富

黍稷 (*Panicum miliaceum* L.) 起源于中国, 是古老的早熟、耐旱、耐瘠作物。种质资源是作物育种和各项研究的物质基础。古老的地方品种、育成的推广品种、重要的育成品系、特殊遗传材料及野生近缘植物, 都属于作物种质资源范畴。黍稷在中国分布广泛, 种质资源十分丰富, 品种类型繁多, 是中国的宝贵财富, 也是黍稷育种工作的物质基础, 国家有关部门先后两次组织各省区在全国范围内收集品种资源, 开展研究利用。

种质资源研究始于 20 世纪 50 年代中期, 各主产省份陆续开展糜子资源的征集工作。我国第一次全国黍稷品种资源征集工作是 1957 年进行的。当时全国收集到的糜子品种资源 3 000 多份, 主要保存在北方各省的科研院所, 由于种种原因, 除黑龙江、山东、陕西、甘肃、宁夏回族自治区 (全书简称宁夏) 等省区的黍稷品种资源保存下来, 河南等省的黍稷品种资源全部丧失发芽力。到 1958 年, 已收集糜子地方品种 6 000 余份。

随着 1978 年中国农业科学院作物品种资源研究所的成立和国家种质库的建成, 中国种质资源研究工作开始走入有序和正规。在中国农业科学院作物品种资源研究所的协调下, 在 20 世纪 80 年代早期再次进行了全国范围的糜子种质资源的征集工作, 在“广泛收集、妥善保存、深入评价、积极创新、合理利用”方针的指导下, 对全国糜子资源进行系统的整理归类。

中国第二次全国黍稷品种资源征集工作是在 1979—1982 年进行的, 各省区对黍稷品种资源进行了补充征集, 并对两次征集的黍稷品种资源进行了整理鉴定。全国黍稷品种资源整理鉴定工作由山西省农业科学院品种资源研究所和内蒙古自治区伊克昭盟农业科学研究所主持, 黑龙江、吉林、辽宁、河北、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、山东等 18 个省 (区) 20 多个科研单位参加了黍稷品种资源协作工作。

1985 年完成了首批 4 203 份糜子资源整理, 编撰出版了《中国糜子品种资源目录》。在整理编目的基础上, 种质资源的考察收集、引进及其各项鉴定工作得以顺利展开。

1986—1995 年在山西省农业科学院品种资源研究所主持下组织各省 (区) 进行了“中国黍稷品种资源特性鉴定”, 其中营养品质分析 6 020 份, 占《中国黍稷品种资源目录》入编品种的 80.1%, 选出高蛋白品种 205 份; 苗期耐盐性鉴定 6 046 份, 占入编品种的 80.4%, 选出耐盐品种 102 份; 抗黑穗鉴定 6 031 份, 占入编品种的 80.2%, 选出抗黑穗品种 9 份。并根据鉴定结果

编写出版了《中国黍稷品种种质资源特性鉴定集》和《中国黍稷优异种质资源的筛选利用》，为中国黍稷品种资源的深入研究奠定了良好的基础。

据资料统计，目前已收集保存黍稷种质资源 8 000 多份。在漫长的农耕历史中，形成了众多丰富多彩的种质资源。从 1981—2005 年，中国黍稷种质资源的收集、保存、研究、利用项目，一直列入国家重点科技攻关计划，使中国黍稷种质资源从收集、整理到研究、利用，进行了全面系统的研究，填补了国内外黍稷研究多项空白。

在国家攻关项目、支撑项目、保种项目、平台项目的持续支持下，到 2012 年，糜子种质资源 8 900 份，国家中期库保存糜子种质 6 865 份，并建立了与之对应的数据库管理系统，先后编撰出版了谷子种质资源目录 7 册、糜子种质资源目录 3 册。2006 年完成了糜子种质资源描述规范和数据标准的制定，2007 年完成了种质资源收集、整理、保存技术规程的制定，2008 年完成了糜子繁殖更新技术规程的制定，使糜子种质资源的基础性工作更为系统和规范。国家中期库种质的更新和充实，提升了种质资源的对外服务能力，初步满足了研究单位和大专院校对基础材料的需求。

1. 黍稷种质资源的搜集、编目

从 1981 年开始，由山西省农业科学院品种资源研究所主持，从陕西、山西、内蒙古、甘肃、黑龙江、宁夏、吉林、河北、新疆、辽宁、青海、江苏、西藏自治区（全书简称西藏）、广东、安徽 15 省（区）收集到黍稷种质资源 5 500 余份，完成 16 项农艺性状鉴定，对同种异名、同名异种的种质资源进行归并，于 1985 年编写出版了中国黍稷品种资源目录，入编种质资源 4 203 份。1986—1990 年从山东、河南、湖北、云南 4 省（区）收集到黍稷种质资源 500 余份，从陕西、甘肃、内蒙古、青海、吉林、黑龙江、山西、新疆 8 省（区）补充收集到黍稷种质资源近千份，整理归并后，于 1987 年编写了中国黍稷品种资源目录续编一，入编种质资源 1 384 份。1991—1995 年从北方部分省（区）在过去品种收集集中遗漏的地区，如内蒙古赤峰地区、宁夏固原地区、河北省承德地区和坝上地区收集到黍稷种质资源 1 400 余份；从北京市、海南省和四川省收集到黍稷种质资源 199 份；从内蒙古、宁夏等省（区）收集到人工创造的、已经稳定的新种质资源 300 余份；还收集到从国外引入和西藏考察收集的黍稷种质资源以及少数近缘野生植物等 200 余份，共计 2 200 余份。经种植整理归并后，于 1994 年出版了中国黍稷品种资源目录续编二，入编种质资源 1 929 份。1996—2000 年从内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、黑龙江、山西等省（区）的育种单位收集新育成的品种（系）以及从美国引入的少量种质资源，共计 500 余份，经种植整理归并后，于 1999 年编写了中国黍稷品种资源目录三，入编种质资源 504 份。

总体来说，2000 年前的 20 年中，主要以在全国范围内收集黍稷种质资源为主。期间从全国各地收集 9 400 余份黍稷种质资源，经过 16 项农艺性状鉴定，通过剔除重复和整理归并，对其中 8 020 份种质编写出版了《中国黍稷品种资源目录》。并对入目的 8 020 份黍稷种质资源按繁殖技术规范和家种质库入库要求，繁殖入国家长期种质库保存，使这些珍贵的黍稷种质得到长期有效的保护。同时还完成了 6 000 余份入目黍稷种质资源的品质鉴定（蛋白质、脂肪、赖氨酸）、耐盐鉴定和抗黑穗病鉴定，筛选出 254 份优异种质供生产和育种利用。

从 2001 年开始，中国黍稷种质资源研究的重点由大量收集、鉴定和保存转向重点收集、创新、利用和繁殖更新，加大资源利用力度，促进黍稷育种的步伐，改变中国黍稷生产的落后状况。同时繁殖更新国家已保存的黍稷种质，新建国家中期库保存黍稷种质，相应建立国家黍稷种质数据库和图像数据库，建立黍稷种质资源利用平台。

2001—2005 年从山西省太原、大同、汾阳以及内蒙古伊集农家种、新品种（系）500 余份，