

# 饲用燕麦种质资源遗传多样性和抗性评价研究

尹祥佳<sup>1</sup> 南 铭<sup>2</sup> 李 晶<sup>1</sup> 王剑虹<sup>1</sup> 景 芳<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 兰州职业技术学院,甘肃兰州 730070; <sup>2</sup> 甘肃省定西市农业科学研究院,定西 743000)

**摘要:**燕麦(*Avena sativa* L.)是一年生禾本科燕麦属植物,一般分为皮燕麦和裸燕麦两大类栽培种。饲用燕麦主要在青藏高原、内蒙古和甘肃等地区种植。综述了饲用燕麦种质资源农艺性状和 DNA 分子标记遗传多样性以及抗旱性、抗病性和耐盐性评价方法,建议加强国外种质资源的引进和国内育种及研究单位的种质资源交流与协作,将分子育种技术融入常规种质资源研究和育种体系,选育或引进优质燕麦品种应用于粮食生产、草牧业和粮改饲,为旱作农业发展,服务乡村振兴战略作贡献。

**关键词:**乡村振兴;饲用燕麦;遗传多样性;抗性评价研究

燕麦(*Avena sativa* L.)是一年生禾本科燕麦属植物,全世界大约有 30 个燕麦属的物种,包括 5 个栽培种和 25 个野生种,我国现有 27 个燕麦物种,一般分为带稃型(皮燕麦,*A. sativa*)和裸粒型(裸燕麦,*Avena muda*)两大类栽培种,主要表现出抗旱、耐贫瘠、耐适度盐碱和适应性强等特性,适宜在我国高纬度、高海拔、高寒地区种植,主要分布在内蒙古、青海、甘肃、宁夏、山西、河北等省(区)<sup>[1-3]</sup>。燕麦新品种选育主要采用引进选育、系统育种、轮回选择、品种间杂交、花药单倍体育种等方式。裸燕麦起源于我国,有 2000 多年栽培史,主要用于粮食和食品加工原料,也可作为饲料;皮燕麦是营养丰富的优质牧草,茎叶、籽实、稃壳都用于优良饲料,满足牧草产业发展和需求<sup>[4]</sup>。根据文献和农业农村部公告,截至 2020 年,经全国草品种审定委员会审定登记的饲用

燕麦品种 14 个,其中育成品种 3 个、引进品种 10 个、地方品种 1 个,饲用燕麦主要在青藏高原、内蒙古和甘肃等地区种植<sup>[5]</sup>。近年来,我国燕麦种植面积约 66.67 万  $\text{hm}^2$  (1000 万亩),产量约 85 万 t,占世界燕麦总产量的 2.8%,居世界第 8 位<sup>[6]</sup>。燕麦荞麦产业技术体系统计了 2020 年我国燕麦种植面积约为 76.67 万  $\text{hm}^2$  (1150 万亩),籽粒总产量约 75.6 万 t,饲草总产量约 310 万 t。随着国家实施乡村振兴战略、调整种植业结构、粮改饲等政策的实施,饲用燕麦具有良好的应用前景<sup>[7]</sup>。因此,本文从饲用燕麦种质资源遗传多样性、抗旱性、抗病性、耐盐性等方面进行分析,为饲用燕麦种质资源保存、研究和品种选育提供参考。

## 1 饲用燕麦种质资源遗传多样性分析

**1.1 农艺性状的遗传多样性分析** 我国燕麦品种选育、生产和应用与国外品种的引进有密切关系。目前,主要通过农艺性状和 DNA 分子标记分析种质资源遗传多样性,作为种质资源收集、保存和研究

**基金项目:** 2021 年度甘肃省高等学校创新基金项目(2021B-496); 兰州职业技术学院 2020-2021 年校级项目(2020XY-17)

质的飞跃,首先要解决制约其发展的科技支撑与成果熟化的问题。

## 参考文献

- [1] 刘春林. 耦合度计算的常见错误分析. 淮阴师范学院学报:自然科学版, 2017, 16 (1): 18-22
- [2] 张洁. 渭河流域(干流地区)人地关系地域系统演变及其优化研究. 西安:西北大学, 2010

- [3] 王志红. 浙江海洋产业集聚与环境资源系统耦合分析. 科技经济市场, 2012 (7): 19-22
- [4] 田泽, 魏翔宇, 丁绪辉. 中国区域产业绿色发展指数评价及影响因素分析. 生态经济, 2018, 34 (11): 103-108
- [5] 湛杨杨. 海岛旅游地人地关系协调发展研究. 青岛:中国海洋大学, 2013
- [6] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (12): 99-103

(收稿日期: 2021-07-22)

的基础工作。我国有燕麦种质资源 5282 份,居世界第 5 位,除直接应用于生产外,还作为育种和科研材料<sup>[8]</sup>。燕麦育种家已将燕麦种质资源农艺性状遗传多样性分析应用于育种材料遗传改良。王娟等<sup>[9]</sup>对来自国内 39 份皮燕麦和裸燕麦种质资源进行田间调查和收获考种,对粒色、粒形、株型、叶相、穗型、小穗型、皮(裸)性等 7 个质量性状和单株分蘖数、小穗数、株高、穗长、轮层数、单株粒数、单株粒重、千粒重等 8 个数量性状进行遗传多样性分析。研究得出了粒形的遗传多样性指数最高,皮(裸)性遗传多样性指数最低,在提高燕麦育种水平、创新燕麦种质方面有较大的潜力,并通过聚类分析将 39 份燕麦的 8 个数量性状分为 5 个类群,类群 I 可作为选育大粒型燕麦亲本;类群 II 为高秆皮裸燕麦品种育种亲本;类群 III 均为裸燕麦,材料有益性状不明显;类群 IV 可作为选育大粒型皮裸燕麦材料,类群 V 均为晚熟皮燕麦,可作为增加轮层数和小穗数以及抗倒伏育种材料。王建丽等<sup>[10]</sup>将 31 份国内和 20 份国外燕麦材料在哈尔滨地区种植,通过 4 个质量性状和 9 个数量性状对 51 份燕麦种质资源进行遗传多样性分析,得出了粒色和主穗长的遗传多样性指数最高。对 9 个数量性状进行聚类分析,把 51 份燕麦分为 4 个类群,类群 I 中包括了大部分国外引进品种;类群 II 以皮燕麦为主,可作为选育矮秆皮燕麦的优良亲本;类群 III 为选育高秆、增加分蘖数育种亲本;类群 IV 除单株分蘖数在 4 个类群中最低外,其余 8 个数量性状均处于最高,可作为选育大粒型、多轮层数、多小穗数等皮燕麦亲本。雷雄等<sup>[11]</sup>研究了川西北地区引进的包括美国国家种质资源库的 50 份国内外燕麦种质资源遗传多样性,对 11 个质量性状和 16 个数量性状进行了形态多样性指数分析,得出绝大部分材料以皮燕麦为主,燕麦主穗长、种子形状、芒有无、芒曲度以及籽粒颜色有较高的遗传多样性。将 50 份材料划分为 4 个类群,类群 I 属于早熟材料,植株高大、单株鲜草产量高、茎节数多、旗叶长、小穗多、茎秆粗壮、分蘖较少;类群 II 为中晚熟种质资源,基本涵盖了所有地理来源供试种质材料,植株相对较矮、草产量低、分蘖较少;类群 III 属于中熟材料,植株分蘖能力强、单株草产量高、种子千粒重高、茎秆较细;类群 IV 属于晚熟材料,植株茎秆粗壮、小穗较多,但是单株草产量和分蘖能力一般,种子较小、茎

节数少。通过农艺性状调查可以直观得到燕麦表型性状及区域适应能力,但在试验过程中极易受到外界生物或非生物因素影响,反映种质资源遗传信息有限,可能导致聚类分析出现偏差。因此,通过开展 DNA 分子标记进行燕麦遗传多样性分析,能够准确挖掘种质资源育种潜力。

**1.2 DNA 分子标记遗传多样性分析** 目前主要应用 AFLP、SSR、ISSR、SRAP 和 SCoT 等标记进行燕麦遗传多样性分析,能够有效弥补常规农艺性状调查不足,具有高通量、针对性和高效性。田长叶等<sup>[12]</sup>应用 AFLP 标记对张家口地区 9 个燕麦栽培种和 1 个四倍体野生种进行了聚类分析,将材料分为两类,1 个栽培种与野燕麦亲缘关系最近,推测张家口地区燕麦栽培品种可能是四倍体和六倍体间杂交育种。白晓雷等<sup>[13]</sup>应用 SSR 和 SRAP 分子标记研究了 25 份赤峰地区和 10 份国家种质资源库的皮燕麦遗传多样性,将 35 份材料分为 4 个类群,赤峰地区皮燕麦资源具有丰富的遗传多样性,两种分子标记结合使用,能全面地分析育种材料遗传多样性。余青青等<sup>[14]</sup>应用 ISSR 标记对贵州引种的甘早(甘肃山丹)、Baler(加拿大)、加燕 2 号(加拿大)、青海白燕麦(青海)、Hay Wire(加拿大)、青引 2 号(青海)、甜燕 2 号(加拿大)等 7 个燕麦品种进行遗传多样性分析,划分为 4 类,第 I 类为甘早;第 II 类为加燕 2 号、Hay Wire、青引 2 号、甜燕 2 号;第 III 类为 Baler;第 IV 类为青海白燕麦,通过遗传距离能够指导燕麦杂交育种和品种改良。刘欢等<sup>[15]</sup>用 ISSR 标记对来自中国、加拿大、美国和欧洲等国家的 42 个饲用燕麦品种和 6 个裸燕麦品种进行遗传多样性分析,将 48 份材料划分为 5 个类群,前 4 大类群均为皮燕麦品种,而第 5 类群包括全部裸燕麦品种,呈现出一定的地域性分布规律。李进等<sup>[16]</sup>首次应用目标起始密码子多态性标记(SCoT)将 36 个饲用燕麦(7 个国内选育品种、1 个地方品种和国外引进的 28 个品种)划分为 4 个类群,第 I 类群由丹麦 444 和青燕 1 号组成;第 II 类群包含 30 个品种;第 III 类群有青引 2 号、青莜 3 号和阿坝燕麦 3 个品种,均为国内审定登记品种;第 IV 类为俄罗斯的苏联燕麦。因此,燕麦种质资源收集与评价是育种工作的基础,应用 DNA 分子标记分析种质资源的遗传多样性,明晰品种间的亲缘关系,对种质资源收集、鉴定

及指导燕麦育种具有重要的意义。

## 2 饲用燕麦抗性评价

**2.1 抗旱性分析** 燕麦在生长过程中不可避免的受到干旱胁迫的严重影响。饲用燕麦抗旱研究主要有干旱胁迫下的种子萌发、幼苗抗旱生理特性、品种抗旱性筛选和产量及干物质积累与分配规律等4个方面。王瑾等<sup>[17]</sup>用15%PEG水溶液模拟干旱胁迫,研究了10个饲用燕麦品种种子萌发期抗旱性,通过测定发芽势、发芽率、发芽指数、根长、芽长、根冠比等指标,抗旱性较强的是枪手、梦龙、燕王、甜燕一号和贝勒。连东等<sup>[18]</sup>选用科尔沁沙地种植的10个饲用燕麦品种,种子萌发期采用15%PEG模拟干旱胁迫,测定苗期叶片的可溶性蛋白、可溶性糖、游离脯氨酸等渗透调节物质含量,SOD、POD、CAT等抗氧化酶活性,相对电导率和含水量等指标,抗旱能力较强的有枪手、贝勒、梦龙、牧马人。刘彦明等<sup>[19-20]</sup>在甘肃中部干旱和半干旱区筛选旱作燕麦品种,皮燕麦定燕2号、白燕14号可以作为种子和饲草;远杂2号和白燕15号适合粗饲料加工;坝攸13号和冀张燕4号生育期适中,抗旱性强,产量稳定,品质优良;白燕2号、坝燕6号、魁北克燕麦和白燕19号等4个饲草燕麦适宜在干旱和半干旱区种植。张久盘等<sup>[21]</sup>在宁夏南部干旱山区进行了7个燕麦品种的抗旱性鉴定,通过抗旱系数、干旱敏感指数和抗旱指数等指标,筛选出燕科1号、坝攸8号、宁攸1号和本德等4个抗旱性品种。刘凯强等<sup>[22]</sup>研究了不同干旱胁迫处理下的青燕1号各器官干物质积累与分配及产量因子变化规律,得出了单序籽粒重、穗粒数、百粒重是影响产量的重要因子,也是筛选抗旱品种的参考指标。因此,如何在干旱胁迫下保持燕麦品种较高产量是重要的抗旱性筛选原则,饲用燕麦品种还要考虑种子和饲草产量。选育抗旱饲用燕麦品种必须对各类材料在旱作区进行抗旱性鉴定和引种试验,进一步选育抗旱性品种和育种材料。

**2.2 抗病性分析** 病害在我国多地燕麦种植区普遍发生,直接影响燕麦生产和饲草产业发展。相关文献报道了国内外燕麦3大类病害33种,包括由40种真菌引发的25种真菌病害,6种细菌引发的4种细菌性病害和5种病毒引发的4种病毒病害<sup>[23]</sup>,因此,燕麦种质资源的抗病性鉴定是选育抗病品种的前提。赵峰等<sup>[24]</sup>采用田间自然感病法对213份

燕麦种质(皮燕麦139份,裸燕麦74份)进行了白粉病抗性评价,裸燕麦仅有330和保罗表现中抗;10份皮燕麦青永久系列种质材料表现高抗,8份表现中抗,说明青永久系列材料可能存在抗白粉病基因。周天旺等<sup>[25]</sup>对22份皮燕麦和16份裸燕麦进行了抗坚黑穗病鉴定,22份皮燕麦中有10份材料表现为免疫,6份材料高抗,表现抗的材料有4份,中感材料有2份;16份裸燕麦中有7份材料表现为免疫,3份材料高抗,表现抗的材料有2份,中感材料有4份。因此,燕麦品种表现的抗病性是由主效抗病基因所控制的,燕麦抗病性鉴定还要更好的借助分子育种技术辅助育种,以及高密度SNP标记的全基因组关联分析,找到QTL位点,定位抗病性状染色体区域,进一步挖掘抗病基因,为丰富抗病燕麦种质奠定基础。

**2.3 耐盐性分析** 盐胁迫严重影响作物生长发育,是导致产量和品质下降的主要非生物逆境因素之一。燕麦耐盐性研究主要有盐胁迫下萌发期和苗期生理指标综合性评价,耐盐相关基因克隆和差异蛋白组学等方面。陈新等<sup>[26]</sup>用1.2%NaCl水溶液盐胁迫,研究了35份国外和243份国内裸燕麦萌发期的耐盐性,有17份高耐盐材料,发芽率可作为裸燕麦萌发期耐盐性快速筛选指标。赖弟利等<sup>[27]</sup>选用相对存活率、相对根数、相对苗高和相对根长作为燕麦幼苗耐盐指标,研究了6个燕麦栽培品种幼苗耐盐性与生理生化指标的关系,过氧化物酶活性和叶绿素含量与耐盐指标间存在显著正相关;千粒重与耐盐指标过氧化物酶及叶绿素含量之间存在显著负相关关系;丙二醛、可溶性糖、脯氨酸含量与耐盐指标间存在显著负相关。张胜博等<sup>[28]</sup>以燕麦VA0-9为材料,通过RT-PCR克隆燕麦NAC转录因子家族*AsNAC1*基因,进行生物信息学分析,用农杆菌介导法转化拟南芥进行功能基因验证,能够有效提高拟南芥的抗盐胁迫能力,判断*AsNAC1*基因为耐盐相关基因。陈晓晶等<sup>[29]</sup>对白燕5号进行了6d的盐胁迫处理,通过测定对照材料与盐胁迫材料叶片的MDA含量,SOD、POD活性和游离脯氨酸含量,结果表明盐胁迫下燕麦叶片Pro含量增加来维持细胞渗透平衡。用Label-Free技术分析叶片差异表达蛋白,鉴定了76个差异蛋白,有9个与分子伴侣相关,4个与蛋白质周转相关,2个与蛋白质翻译后修饰相



关。9个分子伴侣相关蛋白均属热激蛋白,盐胁迫条件下有8个上调,可能是通过合成热激蛋白来应对高盐胁迫造成的伤害。

### 3 展望

常规育种依赖表型数据,而分子育种则侧重于基因型数据。通过饲用燕麦种质资源遗传多样性和抗性评价,进一步构建表型和基因型关联是实现精准育种的有效方法。选育优良的饲用燕麦品种必须加强国外种质资源的引进和国内各育种及研究单位的种质资源交流与协作,将分子育种技术融入常规种质资源研究和育种体系。应用分子育种技术加强燕麦种质资源的遗传多样性研究,充分掌握燕麦种质资源的基础信息;利用NGS测序技术开发燕麦高密度SNP分子标记,构建燕麦遗传连锁图谱,重要性状QTL定位以及全基因组关联分析;加强基因组选择育种,直接对重要目标性状进行分子水平的选择;加强燕麦基因工程育种研究,建立高通量的遗传转化平台,探索基因编辑技术的应用。选育或引进优质燕麦品种应用于粮食生产、草牧业和粮改饲,贡献旱作农业发展,服务乡村振兴战略。

### 参考文献

- [1] 肖燕子,徐丽君,辛晓平,乌仁其其格,孙林,姜超. 呼伦贝尔地区不同燕麦品种的营养价值及发酵品质评价研究. 草业学报,2020,29(12): 171-179
- [2] 张曼,张关莉,郭军,杜瑞芬. 中国燕麦分布、生产及营养价值与生理功能概述. 内蒙古农业科技,2014(2): 116-118
- [3] 赵伟伟,马祥,张然,马晖玲. 青海东部农区高产优质燕麦品种筛选. 草业科学,2020,37(3): 532-541
- [4] 任长忠,崔林,杨才,田长叶,付晓峰,刘彦明,赵桂琴,郭来春. 我国燕麦高效育种技术体系创建与应用. 中国农业科技导报,2016,18(1): 1-6
- [5] 刘文辉,贾志锋,梁国玲. 我国饲用燕麦产业发展现状及存在的问题和建议. 青海科技,2020(3): 82-85
- [6] 任长忠,崔林,何峰,欧阳韶晖,胡新中,李再贵,陕方. 我国燕麦荞麦产业技术体系建设与发展. 吉林农业大学学报,2018,40(4): 524-532
- [7] 郭婷,薛彪,白娟,孙启忠. 刍议中国牧草产业发展现状——以苜蓿、燕麦为例. 草业科学,2019,36(5): 1466-1474
- [8] 郑殿升,张宗文. 中国燕麦种质资源国外引种与利用. 植物遗传资源学报,2017,18(6): 1001-1005
- [9] 王娟,李荫藩,梁秀芝,郑敏娜. 北方主栽燕麦品种种质资源形态多样性分析. 作物杂志,2017(4): 27-32
- [10] 王建丽,马利超,申忠宝,刘杰淋,朱瑞芬,韩微波,钟鹏,邸桂俐,韩贵清,郭长虹. 基于遗传多样性评估燕麦品种的农艺性状. 草业学报,2019,28(2): 131-141
- [11] 雷雄,游明鸿,白史且,陈丽丽,邓培华,熊毅,熊艳丽,余青青,马啸,杨建,张昌兵. 川西北高原50份燕麦种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价. 草业学报,2020,29(7): 131-142
- [12] 田长叶,苑鹤,赵世峰,王俊英. 燕麦栽培种遗传关系的 AFLP 分析. 华北农学报,2014,29(4): 126-129
- [13] 白晓雷,刘艳春,生国利,杨学文,王欣欣,唐超,路耿新. 35 份皮燕麦种质遗传多样性的 SSR 和 SRAP 分析. 内蒙古农业科技,2015,43(4): 6-11
- [14] 余青青,王普昶,赵丽丽,陈超,唐华江,李继伟. 7 个燕麦品种的 ISSR 遗传多样性分析. 江苏农业科学,2018,46(19): 34-37
- [15] 刘欢,慕平,赵桂琴. 燕麦种质资源遗传多样性 ISSR 研究. 草业学报,2012,21(4): 116-124
- [16] 李进,陈仕勇,赵旭,田浩琦,陈智华,周青平. 基于 SCoT 标记的饲用燕麦品种遗传结构及指纹图谱分析. 草业学报,2021,30(7): 72-81
- [17] 王瑾,张玉霞,丛百明,朱爱民,郭园. 10 个饲用燕麦品种种子萌发期抗旱性筛选. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2019,34(4): 315-320
- [18] 连东,张玉霞,朱爱民,田永雷,丛百明. 不同饲用燕麦品种苗期抗旱生理特性研究. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2018,33(5): 427-434
- [19] 刘彦明,南铭,边芳,任生兰. 11 个燕麦品种在甘肃中部干旱和半干旱地区的表现. 甘肃农业科技,2017(9): 33-36
- [20] 刘彦明,南铭,边芳,任生兰. 11 个饲用燕麦品种在甘肃中部干旱和半干旱地区的表现. 甘肃农业科技,2018(9): 56-60
- [21] 张久盘,穆兰海,杜燕萍,贾宝光,常克勤. 7 个燕麦品种在宁南地区的抗旱性评价. 甘肃农业科技,2018(3): 74-78
- [22] 刘凯强,刘文辉,贾志锋,梁国玲,马祥. 干旱胁迫对‘青燕1号’燕麦产量及干物质积累与分配的影响. 草业学报,2021,30(3): 177-188
- [23] 李春杰,陈泰祥,赵桂琴,南志标. 燕麦病害研究进展. 草业学报,2017,26(12): 203-222
- [24] 赵峰,郭满库,郭成,尚新新,赵志鹏,赵桂琴. 213 份燕麦种质的白粉病抗性评价. 草业学报,2017,34(2): 331-338
- [25] 周天旺,徐生钧,王春明,郭成,赵桂琴. 38 份燕麦种质抗坚黑穗病鉴定与评价. 甘肃农业科技,2018(7): 33-35
- [26] 陈新,张宗文,吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选. 中国农业科学,2014,47(10): 2038-2046
- [27] 赖弟利,范昱,朱红林,何凤,梁勇,徐欣然,文杰,王俊珍,严俊,程剑平. 燕麦耐盐性的生理生化指标网络分析. 作物杂志,2020(2): 147-155
- [28] 张胜博,刘景辉,李立军,赵宝平. 燕麦 AsNAC1 耐盐基因的克隆及初步验证. 北方农业学报,2016,44(5): 1-7
- [29] 陈晓晶,刘景辉,杨彦明,赵洲,徐忠山,海霞,韩宇婷. 盐胁迫对燕麦叶片生理指标和差异蛋白组学的影响. 作物学报,2019,45(9): 1431-1439

(收稿日期: 2021-07-30)