

燕麦种质资源研究进展

李颖, 毛培胜* (中国农业大学草业科学系, 北京 100193)

摘要 主要从燕麦(*Avena sativa* L.)种质资源的收集与保存、评价、利用、分子遗传学研究等方面对近十几年来国内外对燕麦种质资源的研究进行了简要综述, 并对我国目前燕麦研究中的问题进行了探讨并作出展望, 以期为我国燕麦研究提供参考。

关键词 燕麦; 种质资源; 进展

中图分类号 S512.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)01-00072-05

Research Progress of *Avena sativa* L. Germplasm Resource

LI Ying et al (Department of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract Researches about *Avena sativa* L. germplasm for over a decade at home and abroad was reviewed from aspects of germplasm collection, preservation, evaluation, utilization, and molecular genetics. The problems in the current researches were discussed and the prospect was forecasted so as to offer some reference for research of *A. sativa* in China.

Key words *Avena sativa* L.; Germplasm resources; Research progress

燕麦(*Avena sativa* L.)是禾本科(Gramineae)燕麦属(*Avena*)1年生草本植物,一般分为带稃型(皮燕麦)和裸粒型(裸燕麦)两种^[1]。按植物学分类可以分为普通燕麦、大粒裸燕麦、普通野燕麦和野红燕麦等25个种^[2]。燕麦是世界性栽培作物,广泛分布于世界42个国家^[3],集中产区是北半球的温带地区。世界各国栽培的燕麦以皮燕麦为主,多数用于家畜或家禽的饲料。我国以种植裸燕麦为主,收获的籽实作为粮食食用,茎叶作为牲畜的饲草,所以裸燕麦在我国是粮草兼用型作物^[2]。我国燕麦种植历史悠久,且种植面积广泛,在内蒙古、河北、山西、甘肃、陕西等省份均有种植,并且前4个省份的种植面积占全国燕麦种植面积的90%。此外,我国燕麦种植地区在高寒地带较为集中,在青藏高原及其周边地区燕麦是家畜的主要饲料,其种植与收获对当地畜牧业发展和生态建设都具有重要的意义^[4]。

燕麦具有较好的抗逆性和营养价值。燕麦适应性强,耐寒、抗旱、耐瘠薄、耐适度盐碱,农业风险系数低^[5]。燕麦籽粒富含粗蛋白、粗纤维、亚油酸、维生素E等成为,具有降血压、降血脂等功效,是深受人们喜爱的保健食品^[6]。除常见燕麦片等食品外,人们还开发出了燕麦方便食品、燕麦糕点、燕麦乳饮料、燕麦化妆品等^[2]。为此,笔者就燕麦种质资源的研究作一简要回顾,为今后燕麦种质资源的收集、保存、开发等工作提供参考。

1 燕麦种质资源的收集与保存

1.1 燕麦的起源 一般认为,燕麦具有4个起源中心:①我国西部,②地中海北岸,③前亚伊朗高原一带,④东非的埃塞俄比亚高原^[7]。Zhou等用RAPD分子标记研究了栽培燕麦的起源,证明所有野红燕麦的祖先起源于亚洲西南部,即现

在的伊朗、伊拉克和土耳其,在后来的驯化过程中,野红燕麦与普通燕麦之间发生7C217染色体易位^[8]。Jellen等对140个来源不同的燕麦种质进行了分析,发现来自地中海盆地和印度次大陆的地中海燕麦中,有89%的没有发生7C-17易位,而97%的皮燕麦和裸燕麦都有7C-17易位片段,据此认为普通皮燕麦和地中海燕麦是独立进化而来的,而且有无7C-17易位片段与燕麦的春性和冬性关系密切^[9]。我国西部地区是裸燕麦的发源地、驯化地核传统产地^[5],该地区地形复杂,海拔1500~3000m,绝大部分地区年均温-5~11℃,全年降水量500mm以下,长期单一恶劣的环境也造就了我国燕麦耐旱不抗到、耐瘠不高产的特性。其他3个起源地起源的燕麦类型均为皮燕麦。

1.2 我国燕麦种质资源的收集与保存 我国燕麦种质资源的收集工作起步晚,开始于建国后。20世纪50年代末,中国农业科学院作物研究所引入苏联、丹麦、加拿大、法国、瑞典、匈牙利、蒙古、日本等21个国家燕麦资源489份,国家农业部组织产区种子部门与科研部门开展燕麦种质资源的调查与征集,截至1966年我国共拥有国内外燕麦资源1497份。1973年中国农业科学院国外引种室恢复外引工作,陆续引入200余份燕麦资源。1980~1984年西藏作物品种资源考察队采集到普通野燕麦161份、异燕麦属西南燕麦种5份、野生近缘植物扁芒草4份。20世纪80年代,中国农业科学院作物品种资源所和内蒙古农业科学院组织全国18个科研、教学单位完成了《中国燕麦品种资源目录》(第一册),“八五”期间再次组织编纂《中国燕麦品种资源目录》(第二册)(肖大海1992)。编入目录资源共计2978份,其中裸燕麦资源1699份(国内1663份,国外36份)、皮燕麦资源1278份(国内309份,国外969份)、野燕麦1份(中国农科院作物品种资源所1996)。2册品种资源目录入编的燕麦资源分别隶属于燕麦属(*Avena*)中的9个种,即六倍体种6个:裸燕麦(*A. nuda* L.)、普通栽培燕麦(*A. sativa* L.)、野红燕麦(*A. sterilis* L.)、地中海燕麦(*A. byzantina* Hochest)、普通野燕麦(*A. fatun* L.)、东方燕麦(*A. orientalis* Schreb);四倍体种1个:大燕麦(*A. magna* Mur);2倍体种2个:砂燕麦(*A. strigosa*

基金项目 现代牧草产业技术体系(CARS-35);十二五科技支撑课题“优质多抗牧草新品种选育与良种繁育关键技术研究”与示范项目”(2011BAD17B01-02)。

作者简介 李颖(1989-),女,山东兖州人,硕士研究生,研究方向:牧草育种与良种繁育,E-mail:liyinying0115@163.com。*通讯作者,教授,博士生导师,从事牧草育种与良种繁育研究,E-mail:97034h@cau.edu.cn。

收稿日期 2012-11-13

Schreb), 小粒裸燕麦 (*A. nudibrevis* var.)^[10]。

作物种质资源在我国也称作作物遗传资源、品种资源或基因资源, 包括地方品种、优良选育品种、突变种, 以及稀有种、野生种和近缘野生植物。种质资源保存方式可分为两大类, 第一类为原地保存 (*in situ conservation*), 是指在原来的生态环境中, 就地进行自我繁殖保存种质, 如建立自然保护区和天然公园。第二类为异地保存 (*exsitu conservation*), 是指种质保存于该植物原产地意外的地方, 如建立低温种质库、田园种质库 (种质圃、植物园) 以及利用试管苗种质库保存组织培养物等^[11]。目前, 我国国家农作物种质保存中心长期库 (温度 -18 ± 1 °C, 相对湿度 $< 50\%$) 中保存了燕麦种子共 1 142 份, 其中皮燕麦 995 份, 裸燕麦 147 份; 此外, 一些地方研究单位采用中期库 (温度 -4 ± 2 °C, 相对湿度 $< 50\%$) 保存和活体保存共保存了燕麦种质资源 504 份, 其中, 河北省坝上农业科学所 3 份, 内蒙古农业科学院 7 份, 内蒙古乌盟农业科学所 26 份, 内蒙古锡盟农业科学研究所 15 份, 青海省农业科学院 5 份, 青海省畜牧兽医科学院 283 份, 山西省农业科学院高寒区作物研究所 59 份, 中国农业科学院草原研究所 56 份, 中国农业科学院作物品种资源研究所 50 份^[7]。

2 燕麦种质资源的评价

燕麦种质资源的评价性状主要包括植物学性状、生物学性状、农艺性状、抗性性状和籽实品质性状等。张新军等根据上述评价性状对我国野生燕麦资源进行了评价^[2]。塔娜等认为皮燕麦和裸燕麦在产量和抗性方面表现不同^[12]。马得泉等对我国 2 977 份燕麦编目资源进行了综合鉴定, 初步筛选出一批优异种质, 为育种工程和深入开展资源研究等工作提供了宝贵资料^[13]。国外在对燕麦种质资源收集的基础上, 用同工酶及分子标记等手段对燕麦种质资源进行评价^[14], 在遗传改良和育种方面也取得了较大的成绩。国内燕麦研究主要侧重于营养品质含量、保健功能^[15]及种质资源的收集与评价、生产性能、混播试验、栽培技术等方面^[4,7], 并且研究落后于国外。

2.1 植物学性状 主要包括株高、须根系入土深度、幼苗特性 (直立、半直立、匍匐)、叶舌和叶耳特性、花序、穗型 (紧穗型、侧散型、周散型)、每小穗籽片数、每小穗小花数、异交率、种子颜色以及叶色等。燕麦株高 60 ~ 120 cm, 须根系, 入土较深。幼苗有直立、半直立、匍匐 3 种类型; 抗旱、抗寒者多属匍匐型, 抗倒伏、耐水肥者多为直立型。叶有突出膜状齿形的叶舌, 但无叶耳。圆锥花序, 有紧穗型、侧散型与周散型 3 种。普通栽培燕麦多为周散型, 东方燕麦多为侧散型。分枝上着生 10 ~ 75 个小穗; 每一小穗有 2 片籽片, 内生小花 1 ~ 3 朵, 也偶有 4 朵者, 裸燕麦则有 2 ~ 7 朵。自花传粉, 异交率低。除裸燕麦外, 籽粒都紧包在内、外稃之间。种子粒色有白、黄、褐、棕和黑 5 种。不同熟性燕麦的植物学性状也有所不同, 与晚熟品种相比较, 我国早熟品种多直立、植株矮小、叶色浅且小穗小花数量少。刘刚的研究表明, 在测定的青藏高原饲用燕麦的 10 个植物学性状中, 对青草产量贡献显著的植物学性状有绿叶数、有

效分蘖数、茎粗和单茎重^[16]。

2.2 生物学性状 生物学性状主要包括萌发温度、适宜的发芽温度、土壤水分、土壤要求和日照要求等。我国西南地区为弱冬性燕麦区, 其燕麦品种的生育期一般均超过 200 d, 北方燕麦为春性品种, 生育期 85 ~ 100 d, 生育期少于 76 d 的燕麦为极早熟品种^[7,10]。齐冰洁等根据燕麦的 11 个生物学性状表现, 对国内外 71 份燕麦种质资源的遗传多样性进行了分析评价, 对供试的燕麦种质资源皮/裸、芒色、芒型的分析表明, 皮/裸性状中皮燕麦频数为 0.577, 裸燕麦频数为 0.423; 芒色以黄色和黑色为主, 频数为 0.282 和 0.254; 芒型中以直芒为主, 频数为 0.606。在 3 个质量性状中, 芒色的遗传多样性指数最高, 为 1.67, 说明芒色的遗传差异较大, 材料遗传基础较广。对供试燕麦种质资源单株粒重等 8 个数量性状的统计分析结果表明, 单株粒重的多样性指数最高, 为 1.83; 单株分蘖数最低, 为 0.72。8 个数量性状的多样性指数平均为 1.69, 说明各性状遗传差异大, 供试材料遗传基础广, 具有较丰富的多样性。不同性状的变异系数存在很大差异。单株粒重的变异系数最大, 为 44.93%, 表明供试材料间在这个性状上存在较为丰富的变异类型, 选择的范围较大, 改良的潜力大; 轮层数的变异系数最小, 为 11.64%, 说明此性状在材料间差异较小, 是较稳定的^[17]。

2.3 农艺性状 农艺性状主要包括有效分蘖数、种子千粒重、全株粒重和秸秆产量等。燕麦育种中选择的多数农艺性状都是数量性状, 它们不仅受遗传因子控制, 而且很大程度上也受环境因素的支配, 这就增加了选择的难度。因此, 研究和探讨农艺性状间的遗传关系已成为许多数量遗传学家和育种工作者十分关注的问题。根据马得泉等的总结鉴定可知, 裸燕麦农家品种普遍比育成品种的分蘖力强、成穗率高; 我国裸燕麦具有多花多实的特点; 皮燕麦在穗粒重、千粒重上的表现优于裸燕麦。张向前等对 74 份供试燕麦材料 (包括 31 份皮燕麦、43 份裸燕麦) 5 个质量性状和 8 个数量性状分析结果表明, 各性状的遗传多样性指数大, 多样性指数最高的是主穗粒重, 其次是千粒重和穗长; 性状变异系数最大的是单株分蘖数, 其后依次为单株粒重和主穗粒重, 最小的是株高^[13]。

2.4 抗性性状 燕麦耐寒冷、耐干旱、耐土地贫瘠、耐适度盐碱, 燕麦种质资源中丰富的抗性基因是其表现良好抗性的基础。

2.4.1 抗倒伏。 大多数燕麦品种植株高大, 容易倒伏。在北京水浇地、中上等土条件下, 施基肥 2.25 万 kg/hm², 追硫酸 225 万 kg/hm², 生育期间 3 ~ 5 月灌溉 5 次, 6 月份降水量 201.3 mm, 经历 5、6 级大风各 1 次, 在乳熟期观察只有 36 份裸燕麦未倒伏 (多数在山西早熟裸燕麦)^[10]。皮燕麦的抗倒伏能力比裸燕麦强, 主要是株高对燕麦秆的韧性和硬度影响大; 另外, 皮燕麦的小穗数量少、结籽少, 一定程度上减轻了穗的数量, 由此也不易倒伏^[12]。

2.4.2 抗病性。 燕麦的抗病种质主要有抗坚黑穗病种质、抗燕麦红叶病种质、抗燕麦秆锈病种质和抗燕麦黄矮病种质

等。我国抗坚黑穗病种质比较丰富,皮燕麦占鉴定种质的 39.4%,裸燕麦占鉴定种质的 39.4%。我国抗燕麦红叶病种质和抗燕麦秆锈病种质比较少,对 1 151 份种质抗坚黑穗病的鉴定结果,只有 76 份抗病资源,BYDV 抗原十分缺乏;从我国现有资源中筛选出来的抗燕麦秆锈病种质,多属于国外引进品种。

2.4.3 抗旱性。白向历等研究了气孔导度和光合速率影响胞间 CO_2 浓度变化,认为在水分胁迫条件下气孔导度是影响胞间 CO_2 浓度变化的主要因素。气孔因素作用的结果是水分胁迫致使净光合速率下降的主要原因^[18]。肖大海认为在其鉴定的材料中最抗旱的品种是山西临县小裸燕麦、化德县小裸燕麦、瑞典的索尔福 I·珊福早纳 II^[10]。辛国荣等的研究表明,利用叶片相对含水量、叶绿素含量、气孔宽度、脯氨酸含量等生理生化指标评价和反复干旱相结合来进行燕麦抗旱性鉴定的方法是可行的^[19-20]。

2.4.4 抗寒性与耐适度盐碱。我国燕麦主要分布于东北、华北、西南等高寒地区,普遍具有较好的抗寒性。在该方面报道较少。

盐碱胁迫发生时,燕麦叶绿体会膨胀,基粒片层扭曲、变形、松散,基质稀薄,淀粉粒消失,膜逐渐解体。但是超微结构的这些变化会随着品种对盐碱性耐受性不同产生不同的影响。王波等研究发现,耐盐碱品种白燕 7 号的超微结构受盐碱胁迫影响较不耐盐碱品种白燕 1 号受影响小。随着盐碱浓度的增加,其生理生化指标也发生变化,过氧化氢酶(CAT)活性下降,硝酸还原酶(NR)活性先上升后下降,丙二醛(MDA)含量上升,电解质渗出率增加。盐碱胁迫时燕麦植株水势降低,干物质积累率增加,且随着盐碱浓度的增大而增大,植株对 Na^+ 的吸收增加, K^+ 的吸收将受抑制。随着土壤盐浓度的不同,燕麦不同部位的水势下降程度也不同,裸燕麦又较皮燕麦水势下降幅度大^[21-22]。

2.5 品质性状 燕麦的营养成分含量较高,尤其是籽粒中蛋白质、脂肪、亚油酸含量高,在食用和医用方面都深受人民重视。龚海等通过对 995 份供试燕麦材料进行品质分析,认为裸燕麦品种蛋白质含量在 15% 以下的比重较大,脂肪含量多数在 5%~7%,亚油酸含量在 40%~45% 的占多数。皮燕麦品种蛋白质含量最高可达 17.92%,最低为 8.71%,多数在 10%~15%;脂肪含量在 7% 以上的占多数;亚油酸含量多数集中在 40% 以下,最高可选 46% 以上。裸燕麦在我国山西的品种是高蛋白、中脂肪类型,锡盟的品种为高脂肪、低亚油酸类型,青海的品种为高亚油酸、低脂肪类型,河北、内蒙古、乌盟的品种低蛋白、低亚油酸类型比重较大。皮燕麦主要由国外引入,美国品种为高脂肪、低蛋白质类型,加拿太、中国的品种为中蛋白质、中脂肪、中亚油酸类型,匈牙利、原苏联、丹麦、智利的品种为中蛋白、高脂肪、低亚油酸类型^[23]。

3 燕麦种质资源的利用

对野生燕麦资源的利用从 20 世纪 70 年代后期已经开始。张庆勤等采用通北野生燕麦与小麦近缘属种进行杂交,选育出一批超高产的优良小麦品系^[24-25]。之后,张海清等

在此领域进行重复试验,也获得成功,并在“两系”小麦上获得突破^[26]。李水彬还通过对野燕麦的花器结构特性和散粉规律的观察,制定了杂交方案,初步得出小麦与野燕麦杂交的规律;但对其在当地与小麦花期如何相遇、何时为花粉活性的最强时期,以及获得更多杂交种子的杂交技术、遗传学和细胞学机制等方面的研究尚未明确,还有待做进一步深入研究^[27]。杨才等从收集到的野生燕麦材料中发现了一些抗黄矮病、抗倒伏、高蛋白的野生资源,并利用这些野生燕麦资源与栽培燕麦杂交,取得了较好的效果^[28-29]。

张向前等和齐冰洁等分别分析评价了燕麦种质资源的生物学性状、主要农艺性状的遗传多样性,认为材料遗传基础广、差异大,具有丰富的遗传多样性。张向前等研究表明,利用现有种质资源,对提高燕麦产量有较大的潜力^[3]。齐冰洁等通过聚类分析,明确了燕麦种质资源的不同类型,各类型种质群可以用作不同育种目标时的亲本^[17]。由此可知,通过对已有种质资源的分析评价,根据育种目标,合理的选配组合,可以用于燕麦新品种的选育,并且可以在一定程度上加快速度。

燕麦种质资源还被广泛应用于燕麦的遗传改良工作中。燕麦植株高大抗倒伏能力差。研究人员在日本和韩国的野燕麦中发现了新的矮秆基因,这些燕麦株高只有 50 cm 左右。用这些材料与普通燕麦杂交,从 F_2 代中发现有 7 个品系含有单个显性基因,与普通亲本 4 次回交后,筛选出了 5 个含有单个显性矮秆基因(命名为 *Du8*) 的品系。*Du8* 独立于 *Du6* 和 *Du7* 基因位点,对降低株高作用显著(50%),优于 *Du6*(34%)和 *Du7*(47%)。*Du6* 缩短了节间长度但没有改变节间数量,*Du7* 不仅缩短了节间长度,也减少了节间数量;*Du8* 的作用类似于 *Du6*,但对产量的影响并不明显,普遍用于燕麦品种的改良(L 1998)。冠锈病是造成损失最严重的燕麦病害之一。Holland 和 Munkvold(2001)用 10 个抗冠锈病(水平抗性)燕麦品种和 10 个高产品种随机配制了 100 个杂交组合,在接种锈病和使用杀菌剂处理的情况下,对杂交后代进行了多年多点实验,发现冠锈病抗性具有很高的遗传传递力($H=0.89$),并且与产量呈正相关。乔有明等利用青海黄燕麦与从加拿大引进的品种 Donald、OA2313 和 OA2309G 杂交,培育出的早熟 1 号,具有耐寒、耐旱、适应性强、谷壳率低、不易落粒、籽实品质好等特点^[30]。燕麦的能量主要来自于其籽实的含油量。Branson 利用轮回选择对燕麦籽粒和植株的含油量在田间和温室分别进行了选择,经过 3 轮的选择后发现,籽粒含油量显著增加而植株含油量无明显变化^[31]。陈红等报道,在施肥条件下,早期留茬高度 8 cm 刈割燕麦在一定程度上提高了其生产力,尤其是茎叶干重。高寒地区早春播种、覆膜、加大播量等对提高燕麦产草量、建立高产人工草地非常有用^[32]。还有学者对国内外 120 份裸燕麦种质进行检测,筛选出一批高抗氧化的燕麦种质资源,有望用于高抗氧化性燕麦品种的培育^[33]。

4 分子遗传学研究

国外在燕麦目的基因的分离、遗传转化、分子连锁图谱

的构建、基因定位以及应用分子标记进行遗传差异分析和品种鉴定等方面开展了大量研究工作^[34]。Yun 等从燕麦黄化叶片的 cDNA 文库中分离出 1 个 1.5 kb、编码 β -葡聚糖酶的全长 cDNA (1 448 bp) 克隆,测序分析发现它所编码的多肽与大麦的 β -葡聚糖酶在氨基酸序列上有 90% 的同源性。将该 cDNA 克隆到大肠杆菌的表达载体中,它所表达的产物经纯化后可专一性地水解 β -葡聚糖。此外,还对编码燕麦微管蛋白和籽粒球蛋白的 cDNA 克隆,以及燕麦籽粒醇溶谷蛋白的基因组克隆进行了分离和测序^[35]。Zhu 等利用来自于 Ogle 和 MAM1725 杂交、含有 152 个重组株系的群体 AP-DAFLP 研制出与蛋白质和脂肪含量相关的 QTL 图谱,该图谱含有 272 个标记^[36]。利用该图谱发现了 3 个分别与燕麦蛋白质和脂肪含量紧密连锁的位点 OM3、OM6 和 OM9,为基因定位打下了基础。

基于 PCR 的分子标记技术大大促进了遗传育种、种质资源分类和遗传进化、基因克隆的研究,在燕麦分子遗传学研究落后的情况下,一些通用 DNA 分子标记类型如 RAPD、AFLP 等的应用比较频繁。1995 年, O'Donoghue 等采用 RFLP 绘制了六倍体栽培燕麦的分子连锁图谱^[37]。Pal 等对燕麦微卫星文库中 250 个特异克隆进行了测序,根据所得序列和 6 个 cDNA 的 RFLP 探针序列分别设计引物,分析了燕麦属 13 个种的多态性,在燕麦 RFLP 图谱上增加了 9 个基因位点并发现了燕麦的单核苷多态性 SNP。AFLP 分子标记在对来自多个国家的燕麦品种进行遗传多样性分析中得到了很好的应用,皮燕麦与裸燕麦在遗传相似性与形态学分类结果一致,AFLP 揭示了燕麦品种间遗传关系与品种实际来源的一致性,以及品种的遗传距离与其地理分布关系的密切性^[38]。燕麦品种间遗传相似系数和遗传距离的变化范围很大,具有丰富的遗传基础。这一点在齐冰洁等对国内外 71 份燕麦种质资源的遗传多样性进行的分析评价中也得到验证,11 个生物学性状的遗传多样性指数都较大,具有丰富的遗传多样性。单株粒重、干粒重和株高多样性最高,变异系数最大的性状也是单株粒重^[17]。徐微等通过其对裸燕麦种质资源的遗传多样性分析,认为 AFLP 标记适用于裸燕麦的多样性研究,能够获得较高的信息量^[39]。我国裸燕麦种质资源遗传多样性比较丰富,聚类结果与地理来源一致性较强。山西和内蒙古的资源遗传变异大,多样性丰富;西部各省的资源遗传结构较单一;东欧与我国内蒙古资源的遗传关系最近。建议在遗传多样性丰富地区进一步收集燕麦资源,并加强对材料少、代表性较差的地区,如西北和西南地区的燕麦地方品种的收集,以丰富我国的燕麦基因源。相怀军等用 20 对 AFLP 引物对来自于国内外的 177 份皮燕麦资源进行遗传多样性分析,结果表明,全部材料总体上可分为两类,其中一类全部为国内资源,另一类包含所有国外及内蒙古和青海的材料^[40]。国内与国外材料分布相对集中,这表明国内与国外材料亲缘关系较远,交流不是很广泛。而国内不同来源的材料相互交错分布,表明国内皮燕麦资源交流充分,多样性不是很丰富,应加强国外皮燕麦的引种工作。

5 结语

我国是裸燕麦的起源中心和主要生产国家,燕麦种质资源丰富。作为燕麦原产国家,产业的发展潜力很大,政府的重视力度也逐渐加强。从 2002 年起,农业部对于我国燕麦产业的研究就给予了大力支持,制定了《中国燕麦产业化发展规划》,为燕麦产业的发展提供了支持。目前已收集种质资源约 2 000 多份,其中的一些优异种质可供生产和育种项目利用,并取得了显著的社会经济效益^[5]。近年来我国对燕麦的研究增多,但主要集中在栽培方面,其次是引种^[41],在燕麦营养成分、抗氧化成分、青干草品质方面的研究较少,燕麦抗寒、抗盐碱、耐瘠薄、抗病虫害等领域的报道也较少^[42]。提高分子遗传学研究,有效地发掘新的基因资源,对目标基因进行标记,在育种早代进行标记辅助选择,有效提高选择效率,是今后燕麦育种的重要途径。此外,还可利用基因克隆、转基因等手段提高野生燕麦资源中优异基因在新品种培育中的利用价值^[2]。

在解决生产实际问题的同时,努力加强燕麦相关基础学科的研究,如燕麦生理、生化、遗传方面的基础研究,为产业化开发提供保障。加强燕麦保健特性的研究。着重研究与医用和保健成分有密切关系的次生物质,以及次生物质与基因控制的关系,利用现代分子生物学技术探索这些功能成分的作用机理,开展遗传工程的研究。这些都可为提高燕麦产量和质量的研究提供理论基础,具有重要指导意义。燕麦加工企业应努力拓宽产业化开发链条,建立稳定的市场,进行科学规划指导,争取政府支持,增强特色意识,实施名牌战略。燕麦加工企业应以提供燕麦高质量有机食品为中心,运用最新科研成果,结合农业生产实际制定、实施优质燕麦栽培技术标准和质量控制标准,增强市场竞争力,并扩大市场占有率^[5]。

参考文献

- [1] 杨海鹏,孙泽民. 中国燕麦[M]. 北京:农业出版社,1989.
- [2] 张新军,周海涛,李天亮,等. 燕麦野生资源的收集评价与利用[J]. 河北农业科学,2011,15(1):6-7,10.
- [3] 张向前,刘景辉,齐冰洁,等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,11(2):168-174.
- [4] 赵桂琴,慕平,魏黎明,等. 饲用燕麦研究进展[J]. 草业学报,2007,16(4):116-125.
- [5] 李润枝,陈晨,张培培,等. 我国燕麦种质资源与遗传育种研究进展[J]. 现代农业科技,2009,1(7):44-45.
- [6] 黄艾祥,肖蓉,吴存三. 燕麦及其营养食品的研究开发[J]. 粮食与饲料工业,2000(9):49-50.
- [7] 赵秀芳,戎郁萍,赵来喜,等. 我国燕麦种质资源的收集和评价[J]. 草业科学,2007,24(3):36-40.
- [8] ZHOU X, JELLEN E N, MURPHY J P. Progenitor germplasm of domesticated hexaploid oat[J]. Crop Science, 1999, 39: 1208-1214.
- [9] JELLEN E N, BEARD J. Geographical distribution of a chromosome 7C and 17 intergenomic translocation[J]. Crop Science, 2000, 40: 256-263.
- [10] 肖大海,杨海鹏. 我国燕麦遗传资源的收集与鉴定概况[J]. 作物品种资源,1992(3):7-8.
- [11] 卢新雄. 我国作物种质资源保存及其研究的进展[J]. 自然资源学报, 1995, 10(3): 234.
- [12] 塔娜, 遆晓萍, 张雅慧, 等. 皮、裸燕麦种质资源的性状表现和遗传差异分析[J]. 内蒙古农业科技, 2010(2): 33-35.
- [13] 马得泉, 田长叶. 中国燕麦优异种质资源[J]. 作物品种资源, 1998(2): 4-6.
- [14] PAL N, SANDHU J S, DOMIER L L, et al. Development and characterization of microsatellite and RFLP-Derived PCR Markers in oat[J]. Crop

- Science, 2002, 42: 912–918.
- [15] 胡新中. 燕麦食品加工及功能特性研究进展[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(5): 122–124.
 - [16] 刘刚. 青藏高原饲用燕麦种质资源评价与筛选[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
 - [17] 齐冰洁, 刘景辉, 张智勇, 等. 燕麦种质资源生物学性状的遗传多样性[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(4): 594–599.
 - [18] 白向历, 齐华, 何萍, 等. 水分胁迫对灌浆期燕麦叶片光合特性的影响[J]. 杂粮作物, 2006, 26(1): 25–27.
 - [19] 辛国荣, 董美玲, 宋淑明. 牧草抗旱性研究——水分胁迫下 8 种燕麦品种的抗旱性综合评价[J]. 草业科学, 1996, 13(6): 30–34.
 - [20] 辛国荣, 董美玲, 宋淑明. 牧草抗旱性研究——水分胁迫下几种燕麦品种的一些生理生化变化及其植物抗旱性关系的研究[J]. 草业科学, 1996, 13(5): 50–55.
 - [21] 王波, 宋凤斌. 盐碱胁迫对燕麦水势、干物质积累率以及 K^+ 、 Na^+ 选择性吸收的影响[J]. 农业系统科学与综合性研究, 2006, 22(2): 105–108.
 - [22] 王波, 宋凤斌, 任长忠, 等. 盐碱胁迫对燕麦叶绿体超微结构及一些生理指标的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 7(5): 473–477.
 - [23] 龚海, 李成雄. 燕麦品种资源品质分析[J]. 山西农业科学, 1999, 27(2): 16–19.
 - [24] 张庆勤, 陈庆富, 肖建富. 野生二粒小麦与野生燕麦远缘杂交研究[J]. 种子, 1991(2): 2–4.
 - [25] 张庆勤, 肖建富. 节节麦与野生燕麦远缘杂交研究[J]. 种子, 1992(1): 2–3.
 - [27] 李水彬. 小麦与野燕麦杂交结实性的初步研究[J]. 湖北农学院学报, 1992, 13(2): 96–100.
 - [26] 张海清, 刘雄伦, 何觉民. 通北野燕麦的开花规律及其与小麦杂交的授粉技术研究[J]. 作物研究, 1993, 7(3): 6–8.
 - [28] 杨才, 赵云云, 孙敬三, 等. 用未成熟胚离体培养法获得四倍体大燕麦与六倍体裸麦杂种植株的研究初报[J]. 麦类作物, 1998(18): 5.
 - [29] 赵云云, 周小梅, 杨才. 四倍体大燕麦 $\times$ 六倍体裸麦的杂种 F1 的产生及鉴定[J]. 植物学通报, 2003, 20(3): 302–306.
 - [30] 乔有明, 尹大海, 裴海昆. 早熟 1 号燕麦品种的选育[J]. 草业科学, 2003, 20(3): 34–38.
 - [31] BRANSON C V. Recurrent selection on oil content of oat[J]. Crop Science, 1994, 34: 1505–1510.
 - [32] 陈红, 王海洋, 杜国桢. 刈割时间与刈割强度与施肥处理对燕麦补偿的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(6): 969–975.
 - [33] 任伟, 平华, 任贵兴. 裸燕麦核心种质的抗氧化特性[J]. 作物学报, 2010, 36(6): 988–994.
 - [34] 王茅雁, 张凤英. 国外燕麦分子生物学研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报, 2001, 22(4): 139–144.
 - [35] YUN C H, ESTRADA A, Van KESSEL A, et al. β -Glucan, extracted from oat, enhances disease resistance against bacterial and parasitic infections[J]. FEMS Immunology and Medical Microbiology, 2003, 35(1): 67–75.
 - [36] ZHU S, ROSSNAGEL B G, KAEPLER H F, et al. Genetic analysis of quantitative trait loci for groat protein and oil content in oat[J]. Crop Science, 2004, 44: 254–260.
 - [37] O'DONOUGHUE L S, KIANIAN S F, RAYAPATI P J, et al. A molecular linkage map of cultivated oat[J]. Genome, 1995, 38: 368–380.
 - [38] 刘欢, 慕平, 赵桂琴. 基于 AFLP 的燕麦遗传多样性研究[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 121–127.
 - [39] 徐微, 张宗文, 吴斌, 等. 裸燕麦种质资源 AFLP 标记遗传多样性分析[J]. 作物学报, 2009, 35(12): 2205–2212.
 - [40] 相怀军, 张宗文, 吴斌, 等. 利用 AFLP 标记分析皮燕麦种质资源遗传多样性[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 271–277.
 - [41] 赵桂琴, 师尚礼. 青藏高原饲用燕麦研究与生产现状、存在问题与对策[J]. 草业科学, 2004, 21(11): 17–21.
 - [42] 李凤霞, 张德罡, 姚拓. 燕麦根际促生菌特性研究[J]. 草业学报, 2005, 14(1): 17–21.
 - [43] 蔺卫东, 王效瑜, 李玉莲. 黄土丘陵区燕麦高产优化栽培与土壤肥料耦合试验[J]. 内蒙古农业科技, 2011(1): 45, 134.
 - [44] 王迅婧, 汉丽萍, 赵驥民. 燕麦遗传转化的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 3930–3932.

(上接第 71 页)

上要发挥出陕麦 159 的产量潜力, 最有效的途径是通过选择适宜的播期和种植密度获得适宜的群体和穗粒数, 产量变异系数为 8.43% 也正说明了通过该途径提高产量潜力是最有效的。

3 结论与讨论

陕麦 159 属半冬性, 因而在陕西关中灌区和旱地以及黄淮同类冬麦区, 适宜播期是 10 月上旬^[4]。通常情况下, 产量三要素中的成穗数大约是冬分蘖的一半^[5]。该试验研究表明, 陕麦 159 冬分蘖变异系数为 37.22%, 说明该品种冬分蘖极易受到栽培措施的影响, 而栽培措施中的一个重要因素就是种植密度, 种植密度过小冬分蘖最大潜力不能得到发挥, 种植密度过大群体又会受到抑制。成穗数与穗粒数是一对矛盾体, 群体规模大个体质量小, 反之群体规模小个体质量就大。如果找到了这对矛盾的平衡点, 也就把它们对产量的综合效应发挥到了最大^[6]。该试验中, 陕麦 159 产量维持在 7 500 kg/hm² 水平时, 成穗数为 570 万~630 万穗/hm², 穗粒数为 35~40 粒, 而因为成穗数的变异系数几乎高出穗粒数 1 倍, 所以在陕麦 159 生产中首先应该考虑的是控制该品种的成穗数。

小麦生产中, 许多栽培措施均可通过调节产量三要素影响产量潜力的发挥。该试验初步获得了中肥地陕麦 159 适宜的播期播量, 各地肥力有所差异应因地调节^[7]。此外, 还

需要进一步研究其他栽培措施对产量的影响以及投入产出比, 例如施肥技术、灌溉和病虫害防治技术等, 最终形成该品种“两高一优”的标准化生产技术体系, 促进该品种规模化集约化种植。

参考文献

- [1] 张荣琦, 陈春环, 吉万全. 远缘杂交小麦新品种陕麦 159 的选育及特性[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 127–129.
- [2] 张荣琦, 陈春环, 吉万全. 远缘杂交小麦新品种陕麦 159 的特性及栽培技术[J]. 作物杂志, 2009, 14(2): 120.
- [3] 张荣琦, 陈春环, 吉万全. 高产优质抗病小麦新品种陕麦 159 的选育[J]. 河南农业科学, 2009, 15(10): 62–63.
- [4] 张荣琦, 陈春环, 赵晓农, 等. 利用远缘杂交技术选育小麦新品种之研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 186–188.
- [5] 范濂. 农业试验统计方法[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1983: 408–416.
- [6] 张定一, 张永清, 闫翠萍. 基因型、播期和密度对不同成穗型小麦籽粒产量和灌浆特性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(1): 28–34.
- [7] 郭天财, 朱云集, 王晨阳, 等. 河南省小麦超高产品种产量形成特点及关键栽培技术研究[J]. 中国农业科技导报, 2004(4): 46–50.
- [8] 刘月楼, 种旭东, 刘桢, 等. 保护性耕作在小麦生产上的增产增效试验[J]. 内蒙古农业科技, 2010(3): 46, 97.
- [9] 邓衍明, 叶晓青, 余建明, 等. 植物远缘杂交育种研究进展[J]. 华北农学报, 2011(S2): 52–55.
- [10] LIU X L, JIA L L, HAN B W, et al. Effects of different nutrient management systems and cultivation methods on crop yield and soil fertility[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(11): 1674–1679.
- [11] 张丽华, 姚艳荣, 裴翠娟, 等. 干旱年型播前土壤底墒、播种密度及灌水对冬小麦的产量效应[J]. 华北农学报, 2011(S1): 185–188.