

文章编号:1000-8551(2013)6-0736-07

超高产小麦育种探讨及诱变技术在超高产小麦育种应用

张建伟¹ 杨保安¹ 范家霖¹ 张福彦¹ 李浩² 程仲杰¹¹ 河南省核农学重点实验室/河南省科学院同位素研究所有限责任公司,河南 郑州 450015;² 河南省新郑市农业农村工作委员会,河南 新郑 451150)

摘要:本文就超高产小麦的概念、超高产小麦培育的理论依据以及发展超高产小麦的重要意义进行详细阐述。同时,分析了现阶段超高产小麦育种现状,提出了我国超高产小麦育种中存在的问题,阐明了人工诱变创造种质资源在超高产小麦育种进程中的重要作用,并根据自身多年诱变育种实践简要介绍了在超高产小麦育种以及种质资源创新方面的一些研究成果。

关键词:小麦; 超高产育种; 诱变技术; 富麦 2008

小麦是世界上最重要的粮食作物之一,也是我国第二大粮食作物^[1]。随着经济发展和人口增长,世界小麦需求呈增长趋势。据联合国粮农组织中长期预测:到 2015 年和 2030 年,我国对小麦的需求量将分别达到 1.4051×10^8 t 和 1.7364×10^8 t,分别比 2003 年小麦总产量的 0.9×10^8 t 增加 55.6% 和 92.3%^[2-3]。世界范围内耕地面积呈总体下降的趋势,要达到以上目标,只能提高单产水平。我国小麦品种经过几代改良,产量水平已有大幅度提高。翟凤林^[4]认为,尽管有时会因为条件限制和资源贫乏等原因出现暂时停滞现象,但是小麦育种上的潜力永无止境,育种是提高小麦产量的重要途径。而 Reynolds 等^[5]认为只通过辐射诱变技术进行的遗传改良,其效率很低,只能使小麦的产量潜力增加 50%。因此,要充分发掘小麦产量的遗传潜力,就需要采用各种育种手段,通过各种技术途径,育成更好的超高产小麦良种。为更加适合我国国情,满足我国粮食增长需求,政府部门及一些专家逐渐认识到培育超高产小麦品种的重要性,我国农业科技工作者已全面展开了超高产小麦新品种选育研究,并取得了很大的成果,这对大幅度提高我国小麦产量,确保国家粮食安全,促进农业乃至国民经济的发展都具有十分重要的意义。

1 超高产小麦

1.1 超高产小麦的概念

超高产小麦是一个动态的概念,在不同时期、不同的生态地区、不同的社会需求都会有不同的内涵,但从根本上讲就是创造光合产物形成多、消耗少、积累多、并最大限度地分配给结实器官的品种类型^[6]。截至目前,育种家们对超高产小麦提出了不同的概念和目标,其中山东、河南、北京等一些省份开展小麦超高产育种较早,研究基础较好,育种者思想活跃,取得成果显著。国内一些专家学者认为“超高产小麦”是指在现有生产条件下,产量潜力具有重大突破,产量水平实现跨越性提高,同时具有品质优良、多抗稳产、资源高效利用等优异性能的小麦新品种^[7-9]。培育和推广“超高产小麦”,不仅能够节省资源、保证粮食安全、提高市场竞争力,有利于促进我国农业结构调整,增加农民收入,而且能够破解小麦产量育种所面临的瓶颈问题,从而实现我国小麦育种水平的新跨越。

1.2 培育超高产小麦的理论依据

培育超高产小麦的依据是小麦产量潜力和生产实践^[10-11]。小麦产量潜力是在环境条件和技术条件充分满足的情况下,小麦品种所能够达到的最高产量,也叫理论产量或绝对产量。超高产小麦与普通小麦相

收稿日期:2012-07-06 接受日期:2012-11-23

基金项目:河南省小麦产业体系项目(z2010-01-04),农业部公益性行业(农业)科研专项(201103007),郑州市重大科技攻关(121PZDGG071),河南省省院科技合作项目(112106000028)

作者简介:张建伟(1964-),男,河南新野人,研究员,主要从事小麦诱变育种研究。Tel:0371-68982963;Email:zjw10308@163.com

比,存在着特定的生理机制,特别是高光效和水、肥等资源高效利用的机制。这些生理特点,既可作为生理育种指标进行品种筛选,又可作为超高产栽培的理论依据,实现优质、超高产和资源高效利用^[12]。据美国育种家测算,在最佳条件下小麦产量可达 21 000 kg·hm⁻²^[13],我国植物生理学家根据山东省的地理纬度,光、热资源和小麦的光能利用率,计算的最高理论产量为 18000 kg·hm⁻²^[14](表 1)。

在实践中,国内外也有不少关于小麦超高产典型的实例(表 2)。如河南省兰考县 1.33 hm² 试验田创造均产 720.8 kg·667m⁻² 的高产纪录,河南省濮阳市南乐县 66.67hm² 高产攻关田均产达到 703.05kg·667m⁻² 以及山东省滕州市级索镇小麦最高产量记录突破 789.9kg·667m⁻² 等,由此可见,小麦产量提高空间很大。

表 1 小麦产量潜力的预测结果

Table 1 Prediction of wheat yield potential

预测时间 Prediction time	作者 Author	预测地点 Predict locations	产量潜力 Yield potential/(kg·hm ⁻²)
1963 年	汤佩松	中国	12 750
1980 年	Sinha 和 Aggr-val	印度	16999.5
1982 年	梁金城等	中国	22 500
1982 年	Austin	英格兰东部	12 000 - 13999.5
1983 年	翟凤林等	中国北京	12829.5
1984 年	Федоров	前苏联	15 000
1992 年	单玉珊	中国烟台	12 900
1994 年	梁作勤等	中国山东	18 000
1996 年	Kronstad WE	美国	21 000

表 2 部分超高产小麦产量统计

Table 2 Yields of some super- high-yielding wheats

试验时间 Experiment time	试验地点 Experiment locations	试验面积 Experiment scale/667m ²	均产 Average yield/(kg·hm ⁻²)	品种/品系 Varieties/lines
1997 年	山东省龙口北马诸留	2.91	731.73	8017-2
		17.44	707.30	8017-2
2000 年	河南省兰考县	20.0	720.80	豫麦 66
2005 年		20.0	686.00	兰考矮早 8
2006 年	河南省温县祥云镇	2.10	717.20	豫麦 49-198
2007 年	河南省濮阳市南乐县	100	700.91	周麦 16
		100	703.05	周麦 18
2009 年	山东省兖州市小孟镇	3.44	759.95	泰农 18
2009 年	山东省兖州市小孟镇	4.44	755.10	济麦 22
2009 年	山东省滕州市级索镇	3.42	789.90	济麦 22

1.3 培育超高产小麦的意义

超高产小麦新品种选育及相应配套栽培技术在不同国家和地区,对小麦产量增加的贡献率一般在 30%~40%,对减少国际小麦进口,增加我国粮食安全,实现小麦主体自给和缓解世界粮食危机作用巨大^[15]。通过提高单产来带动整个小麦育种技术水平的跨越式发展。从需求角度上讲,我国人口逐年增加,面临着小麦需求量日益增长的严峻挑战;从资源有限性角度讲,

随着耕地面积不断减少,进一步提高单产能够有效地保证小麦总产目标^[16];从竞争角度上讲,我国小麦以中筋麦为主,强筋麦和弱筋麦品种少,且品种的品质指标不稳定,缺乏国际竞争力。综上所述,通过遗传改良来全面提高产量潜力、抗逆能力和改良品质,进而降低成本,增加附加值,是确保国家粮食安全,提高我国小麦竞争力、增加农民收入和保护环境的最经济有效的措施之一。

2 超高产小麦育种现状、进展与问题

2.1 现状与进展

2.1.1 育成了一批产量突出的品种和特色明显的优异资源 河南省育成的以周麦 18 为代表的高产稳产品种,在相应的配套栽培条件下,大面积产量水平稳定达到 $650\text{kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$ 以上^[17]。山东省育成的济麦 22、泰农 18、泰山 23、山农 15 等品种,通过宽幅精量播种等配套栽培技术攻关,多次实现小面积单产 $700\text{kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$ 以上。在矮秆育种实践中,培育了一批矮秆、高产、经济系数高、兼早熟、抗病的小麦新品种,如周麦 16、矮抗 58 等,这些品种克服了传统矮秆品种早衰、千粒重低、籽粒饱满度差和晚熟等不良性状。在抗倒研究方面,降低株高在高产育种中发挥了重要作用,耿爱民等^[18]研究认为,过分强调矮秆作用,限制光合源的增加,反而不利于产量的提升。景东林等^[19]研究表明,株高每增加 10 cm,叶面积系数可增加 1,说明过分矮秆限制了生物产量的提高。可见,适当增加株高,保证小麦必要的生物学产量并兼顾茎秆强度或其它性状,有效解决了小麦高产与倒伏的矛盾。在小麦产量要素改良方面,多穗型小麦的穗粒数、千粒重得到普遍提高,同时一些品种的成穗数与穗粒数互补性极强,对实现高产稳产十分有利,如豫麦 70、周麦 18、富麦 2008 等。

2.1.2 通过配套栽培技术创新,充分挖掘小麦高产潜力 在不同试验中,通过加大投入、培肥地力、改进施肥、播种技术等配套栽培措施,充分挖掘小麦高产潜力,多地先后出现大量超高产典型。在多穗型品种如豫麦 49-8 种植中提出了以分层施肥、氮肥后移和增施钾肥等为特色的“三优精准栽培模式”^[17];在大穗型品种高产栽培中采用增加播种量、缩小株行距和培肥地力等相应配套技术,以产生良好的经济效益^[20]。山东省高产攻关中,余松烈等^[21]采用 2BJK-6 型宽幅精量播种机播种、氮肥后移和精播高产栽培技术,创造了 $789.9\text{kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$ 小麦超高产纪录。

2.1.3 育种理论、技术、理念等方面的创新 近年来,小麦育种工作者围绕产量目标,在小麦株型设计、阶段发育等方面提出了一些新的观点:如魏爱丽等^[22]通过剪叶、包穗、包秆等不同处理方法研究小麦不同器官对粒重的影响,结果表明,叶片对粒重的光合贡献率为 15.41%~59.38%、穗为 21.42%~50.35%、茎鞘为 8.35%~30.98%、贮藏物质为 3.13%~33.02%,可见,非叶片光合器官有着不可忽视的光合贡献率,超高

产小麦育种应增加非叶片光合面积比例,选育出高光效的小麦新品种服务于生产;而李朝霞等^[23]通过分析高粒叶比小麦群体的光合特性以及干物质积累的分配动态,认为粒叶比高的群体经济系数较高,并具有较高的增产潜力;繁茂性是综合反映出生物量的生长动态。赵振东等^[24]在多年的育种实践中发现繁茂性比较好地反映了品种光合产物的同化能力和向籽粒的运转能力,可以作为超高产小麦品种选育的一个重要指标。因此,提高粒叶比、注重繁茂性等育种创新理论已经在实践中发挥了很好的作用。同时,小麦分子生物学研究在开发功能性分子标记、资源创新、核心种质 QTL 位点的发掘、GP 模型建立等方面取得快速进展。而近年来,加速器离子束辐照、空间环境诱变等新型诱变手段^[25],以及植物基因组学、DNA 测序技术和高通量 DNA 技术(TILLING 技术)等新技术的快速崛起也为未来的分子设计育种奠定了基础^[26]。另外,小麦营养遗传学研究表明,不同小麦品种对 N、P、K 等元素的吸收利用效率存在显著差异,且受遗传控制^[27-28]。通过筛选和鉴定,选育出高效利用 N、P、K 等元素的种质材料将对今后超高产小麦育种研究和生产应用产生巨大的推动作用。

2.2 存在问题

2.2.1 育成品种产量水平没有得到实质性突破、稳产性有待提高 根据河南省和国家黄淮南片冬小麦区域试验汇总结果得知,每年参加半冬性预备试验、区域试验以及生产试验的品种共有 100 多个,正常年份在产量水平上能超过对照(周麦 18)参试品种数量的屈指可数,增产幅度更是微乎其微,而能达到极显著水平的更少。只有在特殊气候条件下,才会出现几个显著增产的参试品系,但其综合性状指标也不如对照。除周麦 18、济麦 22 等经过大面积连续种植实践,稳定表现出超高产小麦的特性外,其它多数品种还存在,产量水平不够高、稳定性差、相应配套栽培技术不够完善等问题。目前,多数超高产栽培攻关试验没有严格控制生产成本,其试验结果相当于产量潜力测试,与大田生产要求仍有一定距离,难以大面积推广应用,如果考虑资源高效利用,种植效益,开展同样的栽培试验,其产量水平会有所折扣。辛庆国等^[29]从小麦品种、气候、栽培模式等方面对小麦超高产创建的影响因素进行了研究探讨,认为随着我国超高产小麦创建技术经验的推广和配套机制的完善,我国小麦无论单产还是总产必将有很大的提高。由此可见,我国小麦超高产的潜力还未被充分挖掘。

2.2.2 育成品种的数量和类型远远不能满足需求

目前我国突破性品种选育工作徘徊不前,小麦品种在产量性状、品质特性、抗病性等方面遗传改良进展缓慢,生产上应用的品种单一,且抗灾能力弱,产量潜力小,不能满足生产对品种多样性的要求。2006 - 2011 年全国共审定小麦品种 158 个,其中能够达到超高产小麦初级标准的品种还十分有限,育成品种多集中在半冬性中筋小麦类型中,而晚播早熟的春性品种和优质专用小麦品种数更是稀少。冯家春等^[30]分析了“十一五”期间通过国家黄淮南片审定的 40 个小麦品种的品质性状,结果表明,黄淮南片小麦品种的蛋白质数量性状较好,但质量性状偏差。强筋品种只有 5 个,符合弱筋小麦标准的没有。从一定程度上说明我国育成的小麦品种在数量与品种类型还远不能满足市场需求。

2.2.3 育成品种在高产与优质、高效结合方面还存在突出问题 在小麦主要经济性性状中,诸如多穗、大穗、超高产与优质等性状指标普遍存在着负相关,培育超级小麦,必须克服这一缺点,使穗数、穗粒数、千粒重能与其它优良性状协调增加。然而,目前在我国小麦主产区育成的大面积推广品种中,还远远没有达到预期目标,特别是高产与优质高效的结合方面存在突出问题。如河南省主要优质品种豫麦 34、郑麦 9023 等与中筋小麦品种相比,在丰产性、稳产性和适应性等方面仍存在显著差异。近年来,该省育成的郑麦 366、丰德存 1 号、新麦 26 以及郑麦 7698 等优质小麦品种的丰产性、稳产性及适应性等方面得到明显改善,但与超高产小麦所提出的“产量高、品质好以及稳产”育种目标仍有很大差距^[31]。

2.2.4 种质资源创新与交流滞后 超高产小麦育种计划中提出的预期目标,虽有科学的理论依据,从长远来看也一定能够实现,但在当前的育种实践中,实现其预期目标仍存在很大难度。因此,许多学者都非常注重种质资源创新,育种材料创新和遗传研究是小麦育种和改良的物质基础。关键性的种质材料往往会给小麦育种带来重大突破,其意义和价值远远大于任何单一品种。如四川农业大学颜济等^[32]选育高产、抗锈的优良种质资源“繁六”及其姊妹系,以其为亲本选育出 30 多个小麦新品种,成为四川省 20 世纪 80 ~ 90 年代的当家品种,栽种面积累计达 1 333 万 hm^2 ,对四川麦区小麦育种和生产产生了深刻的影响。我国冬小麦优异种质“矮孟牛”的创造及利用是小麦种质创新和育种研究的一次重要突破,在全国已育成 12 个大面积推广新品种,78 个优良新品系和 96 份衍生资源,并荣获

1997 年国家技术发明一等奖^[33]。可见,要进行超高产小麦育种,必须更加重视超高产育种材料的创造,特别是一些具有特殊抗源、优良品质及高光效等特性的材料。另一个方面,由于种种原因,我国开展基础性和前瞻性的资源创新研究力度不够,种质资源交流滞后,导致一些有特色的育种材料,难以分享交流。目前这成为限制我国超高产小麦育种取得突破的因素之一,应从政策、法规、观念等方面加以引导。

2.2.5 品种试验方法和品种审定办法亟需改进 黄淮地区为了推动小麦超高产育种曾专门设置超高产试验和高密度试验,为一些特殊类型的小麦品种(如豫麦 66、兰考矮早 8 等)提供了成功的机会。类似在优质专用小麦试验与审定中,采用适当降低产量标准的措施,大大推动了优质小麦育种进程。可见,超高产小麦育种需要相应配套的品种试验和品种审定措施,这将为超高产小麦新品种培育和审定提供更多的机会。

3 人工诱发突变在超高产小麦育种中的应用

3.1 特色小麦种质资源的创制与利用

种质资源是育种的物质基础,而种质资源匮乏已成为限制小麦产量的瓶颈,资源创新在突破小麦产量屏障和实现超级小麦育种预期目标中发挥关键性的作用,这正是人工诱变技术的优势之一。利用诱变手段几乎可以实现对小麦所有重要性状的改良,如生育期、株型结构、抗逆性、籽粒与营养品质以及产量潜力等。国内外报道已有大量植物通过诱变成功获得新的突变基因,如雄性不育基因、矮秆基因等^[34-35]。一个优异基因(种质)资源的合理利用常常会带来一系列优良品种的诞生,如“豫麦 2 号”已成为河南省小麦育种利用率最高的骨干亲本^[36],宁麦 9 号成为江苏省小麦育种 10 多年来最优秀的亲本^[37]等。因此,在计划实施的初期就要谨慎研究、精挑细选,确定高起点亲本材料,利用不同的诱变技术与手段,并按照现代超高产小麦育种的新思想,加大试验规模和投入,提高试验水平,改进选择技术,以确保目标实现。另外,笔者结合实践,选育了一批具有重要利用前景的特色种质资源(表 3),对超高产小麦选育具有重要的利用价值。此外,利用航天与辐射诱变还创造了周麦 18 和矮抗 58 的近等基因突变系,为超高产小麦的选育提供了一些基础材料。

表 3 近年来本课题育成的小麦特色品系
Table 3 Typical wheat lines bred by our group in recent years

品系/品种 Lines /varieties	特性 Characteristics	突出特点 Prominent feature	产量结构 Yield structure (万穗·667m ⁻² 、粒/穗、g/千粒)
豫同 68-2	半冬性、大穗大粒、抗病抗倒、中熟	大穗、大粒、丰产	38~45, 37, 47
豫同 198	春性、矮秆、早熟、高产	矮秆、早熟	40~45, 40, 42
豫同 11-170	春性、矮秆、早熟、抗病、高产	矮秆、早熟、丰产、抗病	35~40, 35~40, 50
豫同 194	半冬性、矮秆、抗病、高产	矮秆、丰产、抗病	40, 38, 48
富麦 2008	半冬性、中秆、高产	高产、广适	45~49, 36~40, 43~49

3.2 诱变育种技术创新与应用

如前所述,小麦主要经济性状之间广泛存在着负相关连锁遗传现象,这是超高产小麦育种进程中必需解决的问题。连锁遗传在自然条件下,基因交换和重组频率极低,对育种十分不利。但通过人工诱变,基因交换和重组的频率将会大幅度提高,能够促进优异经济性状的聚合,从而有效地解决这一难题^[38]。同时由于传统辐射源的突变频率较低和突变随机性较大等问题育种者开展了新诱变因素及诱变技术的发掘利用与研究,如重离子束注入技术,空间诱变育种技术等。

诱变技术与现代不同育种技术结合,可以更好的发挥不同育种技术的特点,取长补短,取得令人满意的效果。在育种实践中,将诱发突变技术与生物技术进行有效结合,可以促进基因重组、提高突变效果、实现离体定向诱变、发掘新的变异类型等,从而有效解决杂交中优异性状难以组装的难题,实现目标性状的高效诱变和高通量定向筛选,以提高突变体的选择效率。刘录祥等^[39]将辐射诱变与加倍单倍体技术有效结合,建立了小麦诱变细胞工程育种体系,并将其应用于耐盐性小麦的定向筛选,成功创制了 J33、YS217、H6756 等多个耐盐强的小麦新品系。其中 H6756 的综合耐盐性与山东省一级耐盐对照品种德抗 961 相当,2001-2003 年参加山东省耐盐组区域试验,平均产量为 6292kg·hm⁻²比对照德抗 961 增产 17.3%,并于 2004 年通过审定。

3.3 诱变超高产小麦新品种的培育与应用

诱变技术早期阶段是直接应用于改造当地主栽品种或引进品种的个别不利性状,进行品种改良。现当代多以突变品种为亲本材料会间接利用,充分发挥突变技术的优势,新品种的培育速度大大加快。笔者多年来,坚持开展诱变突变与传统杂交育种、生物技术相结合的方法进行超高产小麦新品种的选育,通过精准选择高起点亲本、提高育种试验地水肥条件、加大群体、采取综合诱变处理、重视结实性与成穗数的互补等

措施进行工作。同时针对辐射诱变处理后种子损伤效应明显,常出现发芽率低、发芽势弱、以及幼苗畸形甚至不育等有害变异的问题,在长期的诱变育种实践中,逐渐摸索出如对诱变处理材料采取晚播、辐照处理时采用相对较低的剂量和剂量率、在较好的种植条件下种植尽量大的群体以及相对宽松的选择标准等一系列切实可行的方法。因此,在超高产小麦新品种选育方面也取得了显著成效,先后育成了豫麦 43、原泛 3 号、国审富麦 2008 等小麦新品种。其中,豫麦 43 在上个世纪 90 年代就创造了 680kg·667m⁻²的高产记录;国审富麦 2008 具有生物学产量高、繁茂性好、三要素协调,特别是成穗能力与结实性强,且互补性好、适应性广、外观品质优等基本特点。2003-2004 年度参加国家黄淮南片区域试验中,淮海农场农科所试验点最高产达到 707kg·667m⁻²,并于 2006 年通过国家和河南省两级审定,在黄淮地区多点试验出现 650kg·667m⁻²以上的高产典型^[40-41]。可见,诱变技术不仅能够创造新的种质资源、打破负相关性状连锁,而且可与其它育种技术结合,形成高效综合育种技术体系,这将在超高产小麦育种实践中发挥不可替代的作用。

超高产是当前小麦育种的主攻方向。超高产小麦育种不是现有品种的补充,而是以利用现有自然资源为前提充分发掘小麦超高产量潜力^[42]。现阶段,我国的小麦分子育种尚未发挥实质性作用,产量潜力、抗逆性、稳产性和品质改良等方面的研究都亟待加强^[43]。因此,结合国内外小麦育种理论与实践,从本地生态条件和育种实际出发,促进不同育种单位间优良种质资源交流,提高资源利用率,同时加强常规育种与分子育种间合作,使小麦育种逐渐程序化、精确化、实用化,从而大大加快我国超高产小麦培育进程。

参考文献:

- [1] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 1-681

- [2] 田纪春. 超级小麦的概念、育种目标和任务[J]. 山东农业科学, 2004, (5): 18-21
- [3] 万富世. 新世纪中国的小麦及其发展对策[C]//中国育种与产业化进展. 北京: 中国农业出版社, 2002, 1-161
- [4] 翟凤林. 超级小麦研究进展与展望[J]. 北京农业科学, 2001, (5): 2-6
- [5] Reynolds M, Bonnett D, Chapman S C, Furbank R T, Mane's Y, Mather D E, Parry M A. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(2): 439-452
- [6] 任雅琴, 徐兴林, 吕金仓, 郭艳萍, 孙军仓, 陈永利, 徐芦, 王晶. 黄淮海区小麦育种方向和策略探讨[J]. 陕西农业科学, 2011, (5): 118-120, 126
- [7] 高凤梅. 黑龙江省超高产春小麦研究现状及发展应用前景[J]. 黑龙江农业科学, 2008, (3): 130-131
- [8] 方正, 邵锡珍, 翟冬峰, 唐世伟, 刘为更, 刘维正. 小麦超高产育种刍议[J]. 山东农业科学, 2007, (3): 18-19
- [9] 赵吉平, 左联忠, 王彩萍, 侯小峰, 郭鹏燕, 郭兆萍. 小麦超高产育种若干问题的思考[J]. 中国种业, 2012, (1): 16-17
- [10] 蔡承智, 李莎莎, 梁颖. 基于产量潜力预测的我国小麦单产分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16323-16325
- [11] 何中虎. 提高小麦产量潜力[M]. 国际小麦改良中心(CIMMYT)编, 北京: 中国科学技术出版社, 1999(11): 25-26
- [12] 田纪春. 超级小麦及其育种方法[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(1): 87-90
- [13] Kronstad W E. Genetic diversity and the fee exchange of germplasm in breaking Yield Barriers [C] // Reynolds M P, et al (eds). *Increasing yield potential in wheat: Breaking the Barriers*. Mexico, DF: CIMMYT, 1996: 19-27
- [14] 梁作勤, 田纪春. 植物生理学[J]. 北京: 农业大学出版社, 1994: 100-104
- [15] 肖世和. 超级麦育种现状与展望[C]//中国小麦育种产业化进展. 北京: 中国农业出版社, 2002, 34-44
- [16] 廖永松, 黄季焜. 21世纪全国及九大流域片粮食需求预测分析[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(1): 29-32
- [17] 王绍中, 郑天存, 郭天财. 河南小麦育种栽培研究进展[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2007: 6, 42, 316
- [18] 耿爱民, 韩文亮, 李志刚, 武利峰, 马振萍. 超级小麦育种产量突破的探讨[J]. 山东农业科学, 2005, (1): 19-21
- [19] 景东林. 冬小麦超高产育种初探[J]. 麦类文摘, 2000, 20(5): 8-9
- [20] 沈天民. 中国超级小麦栽培关键技术[M]. 北京: 中国三峡出版社, 2006: 1, 42-43
- [21] 余松烈, 于振文, 董庆裕, 王东, 张永丽, 姚德常, 王坚强. 小麦亩产789.9 kg高产栽培技术思路[J]. 山东农业科学, 2010(4): 11-12
- [22] 魏爱丽, 王志敏. 小麦不同光合器官对穗粒重的作用及基因型差异研究[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 57-61
- [23] 李朝霞, 赵世杰, 孟庆伟, 邹琦. 高粒叶比小麦群体生理基础研究进展[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(4): 79-83
- [24] 赵振东, 宋建民, 刘建军, 刘爱峰, 李豪圣, 崔建民, 吴祥云. 关于小麦育种若干问题的探讨[J]. 山东农业科学, 2003(4): 7-11
- [25] 刘录祥, 郭会君, 赵林姝, 李军辉, 古佳玉, 赵世荣, 王晶. 植物诱发突变技术育种研究现状与展望[J]. 核农学报, 2009, 23(6): 1001-1007
- [26] 万建民. 作物分子设计育种[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 455-462
- [27] 何文寿, 储燕宁, 王彦才, 杨发. 不同基因型小麦氮营养效率的差异[J]. 宁夏农学院学报, 1997, 18(4): 29-34
- [28] 田纪春, 张忠义, 梁作勤. 高蛋白和低蛋白小麦品种的氮素吸收和运转分配差异的研究[J]. 作物学报, 1994, 20(1): 76-83
- [29] 辛庆国, 殷岩, 王江春, 于经川, 赵倩, 刘兆晔, 姜鸿明. 小麦超高产创建影响因素探讨[J]. 山东农业科学, 2011, (8): 47-49
- [30] 冯家春, 邓贺明. 黄淮南片“十一五”国审小麦品种品质性状分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19070-19072
- [31] 王家利, 崔建海, 郑宏伟, 田纪春, 丁兆堂, 张丙乾. 超级小麦育种的可行性分析及其育种新方法构想[J]. 科技导报, 2001, 10: 54-56
- [32] 周跃东. 小麦优良种质资源繁六及姊妹系的选育和应用分析[J]. 四川农业大学学报, 1992, 10(4): 682-688
- [33] 李晴祺, 李安飞, 包文翔, 李斯深, 李宪彬. 冬小麦新种质“矮孟牛”的创造及研究利用的进展[A]. // 21世纪小麦遗传育种展望. 北京: 中国农业科技出版社, 2001: 465-470
- [34] 王琳清, 陈秀兰, 柳学余. 小麦突变育种学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版, 2004: 12, 218-300
- [35] Shu Q Y, Lagoda P J L. Mutation Techniques for Gene Discovery and Crop Improvement [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2007, 5(2): 193-195
- [36] 朱有朋, 郭春燕, 孙文鑫, 马彩艳, 袁水泉, 詹克慧. 小麦骨干亲本豫麦2号的育种价值分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 50-54
- [37] 姚金保, 马鸿翔, 张平平, 姚国才, 杨学明, 任丽娟, 张鹏, 周森平. 小麦优良亲本宁麦9号的研究与利用[J]. 核农学报, 2012, 26(1): 0017-0021
- [38] Parry M A, Madgwick P J, Bayon C, Tearall K, Hernandez-Lopez A, Baudo M, Rakszegi M, Hamada W, Al-Yassin A, Ouabbou H, Labhili M, Phillips A L. Mutation discovery for crop improvement [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(10): 2817-2825
- [39] Liu L X, Zhao L S, Guo H J, Zhao S R, Wang J, Chen W H, Zheng Q C. A salt tolerant mutant wheat cultivar “H6756” [J]. *Plant Mutation Reports*, 2007, 1(3): 50-51
- [40] 张建伟, 杨保安, 范家霖, 陈云堂. 国审小麦新品种“富麦2008”的选育研究[J]. 河南科学, 2008, 26(10): 1219-1222
- [41] 全国农业技术推广服务中心. 国家冬小麦品种区域试验汇总报告(2003-2004年度)[G]. 北京: 全国农业技术推广服务中心, 2004: 110-163
- [42] 杨亮, 卢少源, 刘桂茹. 超高产小麦育种的探讨[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(30): 9491-9492
- [43] 何中虎, 夏先春, 罗晶, 辛志勇, 孔秀英, 景蕊莲, 吴振录, 李杏善. 国际小麦育种研究趋势分析[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(2): 154-156

Discussion on and Application of Mutagenesis Techniques in Super-High-Yielding Wheat Breeding

ZHANG Jian-wei¹ YANG Bao-an¹ FAN Jia-lin¹ ZHANG Fu-yan¹ LI Hao² CHENG Zhong-jie¹

(¹Henan Key Laboratory of Nuclear Agricultural Sciences / Isotope Institute Co., Ltd., Henan Academy of Sciences, Zhengzhou, Henan 450015; ²Xinzheng City Agriculture and Rural Work Committee in Henan, Xinzheng, Henan 451150)

Abstract: In this paper, we particularly described the concept of super-high-yielding wheat, the theoretical basis of its breeding and the significance of its development. Meanwhile, we analyzed the current situation of super-high-yielding wheat breeding and put forward the problems existed in super-high-yielding wheat breeding, and clarified the importance of artificial mutation in wheat germplasm enhancement. Furthermore, according to years of mutation breeding practice, we briefly introduced some research results in super-high-yielding wheat breeding and germplasm enhancement.

Key words: Bread wheat; Super-high-breeding; Mutagenesis techniques; Fu mai 2008