

# 杂交与辐射诱变相结合选育高产 优质小麦新品种的研究

陈晓杰<sup>1</sup> 杨保安<sup>1</sup> 范家霖<sup>1</sup> 张福彦<sup>1</sup> 王浩<sup>2</sup> 陈云堂<sup>1</sup> 程仲杰<sup>1</sup> 崔龙<sup>1</sup> 张建伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>河南省科学院同位素研究所有限责任公司/河南省核农学重点实验室,郑州 450015;

<sup>2</sup>河南省豫丰种业有限公司,郑州 450001)

**摘要:**为了培育优质高产小麦新品种,研究提出用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照杂交F<sub>0</sub>或F<sub>1</sub>干种子,并从早期分离世代开始对重要品质指标进行连续定向跟踪检测的育种技术路线。利用该育种体系从高产中筋组合矮抗58/周麦18、周麦18/豫同198中分别成功选育出2个高产、强筋小麦新品种郑品麦8号、豫丰11。在2年区试中,郑品麦8号比周麦18(CK)增产4.15%、3.95%,达显著、极显著水平;豫丰11比周麦18(CK)增产5.4%、5.17%,均达到极显著水平。2013年、2014年郑品麦8号品质检测结果为容重799g/L、816g/L,蛋白质(干基)含量15.13%、14.32%,湿面筋含量32.0%、30.2%,稳定时间8.0min、7.9min;2015年、2016年豫丰11品质检测结果为容重814g/L、808g/L,蛋白质(干基)含量15.06%、13.90%,湿面筋含量30.9%、29.7%,稳定时间8.0min、9.7min;2个品种品质指标均达强筋小麦品质标准。实践表明杂交与辐射诱变相结合对重要品质指标的连续定向跟踪检测的育种体系是可行的,为加快选育优良高产小麦新品种提供了一种有效途径。

**关键词:**小麦;辐射诱变;高产;优质;定向跟踪检测

小麦是我国最主要的粮食作物之一,随着生活水平的日益提高,人们对小麦品质的要求也越来越

**基金项目:**河南省小麦产业技术体系建设专项资金项目(Z2010-01-04);河南省基础与前沿技术研究计划项目(15230041014,162300410169);河南省科技攻关项目(172102110166,182102110057)

**通信作者:**张建伟

出,不同谷子品种的最佳播期不同,对产量的影响也不一样。该试验与前人研究结果一致。本试验中的3个谷子品种在试验区都在6月20日时产量达到最高,播期过晚产量显著下降。

通过初生核桃林间作的谷子品种种植密度及播期试验,在太行山沙壤地条件下,3个谷子品种最适种植密度不同,随着种植密度的增加产量呈升高趋势,达到一定的种植密度后谷子产量开始下降。不同谷子品种达到最高产量时的种植密度不同,张杂谷5号最适种植密度为90万/hm<sup>2</sup>、张杂谷8号为75万~90万/hm<sup>2</sup>、张杂谷16号为75万/hm<sup>2</sup>。初生核桃林和谷子间作能够整合利用土地资源和光热资源,有效地利用时间和空间,提高单位土地面积产量和经济效益,所以说谷子是发展林下经济最佳作物之一。谷子播种时要注意不同品种的播期,6月20日播

高<sup>[1]</sup>。但长期以来,我国小麦育种以增加产量和提高抗病性为主要目标,而对小麦品质的遗传改良研究不够重视,致使国内目前的小麦生产尚不能满足专用粉市场需求,市场对优质专用小麦的需求量将越来越大<sup>[2]</sup>。20世纪80年代中后期,小麦品质改

## 参考文献

- [1] 傅本重,邹路路,朱洁倩,魏蜜,杨新河,王立华,李国元. 中国核桃生产现状与发展思路. 江苏农业科学,2018,46(18): 5-8
- [2] 皇甫瑞,王振华,张蕙琪,王宏富. 播种日期和密度对谷子植株光合特性的影响. 山西农业科学,2018,46(5): 711-717
- [3] 颜丽美,李国瑜,邹仁峰,李妮,丛新军. 种植密度对夏谷农艺性状及产量的影响. 安徽农业科学,2017,45(12): 12-14
- [4] 李萍,郭二虎,赵荣华,王玉文,郭义堂,王高鸿. 晋谷35号生物学特性及优质高产配套技术研究. 干旱地区农业研究,2002,20(3): 16-18
- [5] 赵海超,曲平化,龚学臣,陈春艳. 不同播期对旱作谷子生长及产量的影响. 河北北方学院学报:自然科学版,2012,28(3): 26-30
- [6] 韩芳,杨清华,郭玮,王海龙,闫伟,袁宏安. 播期对谷子产量·农艺性状及抗性的影响. 安徽农业科学,2015,43(18): 71-72,82

(收稿日期:2018-10-15)

良开始受到重视,小麦品质也成为小麦育种和生产的重要目标。经过 30 多年的努力,我国小麦品种结构有所改善,但达标样品比例较低,2000–2016 年在国审小麦审定品种中,强筋品种占审定品种的 10.5%,中强筋品种占 22.3%,中筋品种占 66.5%,弱筋品种不到 1%<sup>[3]</sup>。而对 2006–2015 年我国小麦主产区 742 个小麦品种 7561 份样品进行品质分析发现:强筋小麦样品比例占总样品量的 21.0%,年度间呈下降趋势,从 41.0% 降低到 14.2%;达标的强筋小麦比例更低,仅占总样品量的 4.8%,年度间呈下降趋势,从 6.7% 降低到 2.0%<sup>[4]</sup>。说明我国小麦总体质量表现为中筋小麦水平,强筋小麦缺口严重,亟需从品种改良入手,培育强筋小麦品种,改善品质结构,提升小麦质量。但小麦的优质和高产都是涉及多个因素的复杂综合性状,且产量性状与品质性状间存在不同程度的负相关,依靠传统的自然杂交可以有效实现不同来源优良基因型的累加重组,但对于基因连锁现象就很难奏效<sup>[5–6]</sup>。而诱发突变不仅可以创造新基因,还能有效打破优良基因与不良基因的连锁现象,促进更广泛的基因重组,国内外利用该项技术在诱导小麦株高降低、提高产量、增加蛋白质含量、提早成熟等方面已经取得了大量的成果<sup>[7–10]</sup>。几十年来,我国利用诱变技术不仅创造了丰富的种质材料,还育成了 140 多个小麦品种,仅次于杂交育种,包括山农辐 63、扬辐 6 号、郑六辐、小偃 6 号等著名品种,为中国小麦增产和农业发展作出了重要贡献<sup>[7,11–14]</sup>。前人对辐射与杂交结合提高小麦辐射育种效果也进行了探讨和实践,先后选育出龙辐麦 17 号、烟辐 188、新春 26 号、豫同 843 和西辐 13 号等几十个小麦品种<sup>[15–19]</sup>。这表明,将诱变处理与传统杂交育种结合更能发挥不同技术途径的优势,促进小麦优质、高产新品种创新研究。因此,本研究将辐照诱变技术和传统杂交技术相结合,并利用国外先进品质分析仪器对重要品质指标进行跟踪检测,选育高产、稳产、优质小麦新品种。

## 1 材料与方法

**1.1 亲本材料选配** 选用河南科技学院小麦育种中心茹振钢教授培育的半冬性、高产稳产、抗倒耐旱、抗冻抗病、根系活力强、适应能力强、落黄好的品种矮抗 58 为母本,以我国著名小麦育种家郑天存先

生育成的半冬性、超高产、多抗、广适小麦品种周麦 18 号为父本进行杂交,组配矮抗 58/周麦 18 单交组合。

选用半冬性、超高产、多抗、广适小麦品种周麦 18 号为母本,以矮秆、大穗、抗倒、早熟、高产新种质豫同 198 (<sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线辐射矮抗 58 选育的高代品系)为父本进行杂交,组配周麦 18/豫同 198 单交组合。

**1.2 杂交、辐射结合选育高产优质小麦品种技术路线** 精选亲本配制高产杂交组合,利用 <sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线对杂交 F<sub>0</sub> 或 F<sub>1</sub> 干种子进行辐照处理,以此在杂交重组的基础上再增加一些突变或打断一些基因连锁产生更多的基因重组。然后逐世代按系谱法选育,从 F<sub>2</sub>M<sub>2</sub> 或 F<sub>3</sub>M<sub>2</sub> 世代开始利用近红外品质分析仪和微型粉质仪对田间表现突出的株行进行品质指标的检测,对品质优异的株行在以后的世代继续对其重要品质指标进行跟踪检测。经过 2–3 个世代对品质指标进行定向跟踪筛选后,对稳定株系进行产量比较试验,并对产量突出的品系进行综合品质分析,最终选育出既高产又优质的小麦新品种。

**1.2.1 郑品麦 8 号的选育过程** 2004 年配制杂交组合矮抗 58/周麦 18,2005 年收获 F<sub>1</sub> 种子,田间播种前利用 <sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线(250GY)处理杂交 F<sub>1</sub> 干种子(F<sub>1</sub>M<sub>0</sub>),然后逐世代按系谱法选育,并从 F<sub>3</sub>M<sub>2</sub> 开始利用近红外品质分析仪和微型粉质仪对田间表现突出的株行进行品质指标的检测,对品质优异的株行在以后世代继续对其重要品质指标进行跟踪检测。于 2009 年育成农艺性状稳定一致、品质优良的小麦新品系豫同 09–65;2009–2011 年参加河南省科学院同位素研究所有限责任公司和河南金苑种业有限公司联合开展的多点产比试验,表现突出;2011–2012 年度参加黄淮冬麦区南片冬水组品种预备试验,定名为郑品麦 8 号。2012–2014 年参加黄淮冬麦区南片冬水组品种区试;2014–2015 年度参加黄淮冬麦区南片冬水组生产试验。于 2016 年通过国家农作物品种审定委员会审定,审定编号为:国审麦 2016014。

**1.2.2 豫丰 11 的选育过程** 2005 年配制杂交组合周麦 18/豫同 198,当年获得 328 粒杂交种,播种前利用 <sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线(200GY)处理杂交 F<sub>0</sub> 干种

子( $F_0M_0$ ),2006年 $F_1M_1$ 干种子全部收获,编号:08611。 $F_2M_2$ 世代种植6000株,于2007年田间选择了106个优良单株,经室内考种淘汰保留85株,然后逐世代按系谱法选育,并从 $F_3M_3$ 开始利用近红外品质分析仪和微型粉质仪对田间表现突出的株行进行品质指标的检测,对品质优异的株行在以后世代继续对其重要品质指标进行跟踪检测。经过多世代品质定向检测和2010–2012年的2年多点比较鉴定试验,于2012年育成半冬性、高产优质小麦新品系豫同12–84。2012–2013年参加黄淮冬麦区南片冬水组品种比较试验,定名为豫丰11;2014–2016年度参加黄淮冬麦区南片冬水组品种区试;2016–2017年度参加黄淮冬麦区南片冬水组生产试验。于2018年通过国家农作物品种审定委员会审定,审定编号为:国审麦20180017。

## 2 结果与分析

**2.1 产量水平** 2012–2013年度郑品麦8号参加黄淮冬麦区南片冬水组区域试验,17点汇总,平均产量 $7243.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产4.15%,达显著水平,增产点率88.2%;2013–2014年度续试,20点汇总,平均产量 $8745.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产3.95%,达到极显著水平,增产点率90.0%。2014–2015年度参加黄淮冬麦区南片冬水组生产试验,产量为 $8370.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产5.71%,增产点率95.2%。区试、生产试验平均产量 $8119.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产4.60%,增产点率91.1%(表1)。

2014–2015年度豫丰11参加黄淮冬麦区南片冬水组区域试验,19点汇总,平均产量 $8203.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产5.40%,达极显著水平,增产点率94.7%;2015–2016年度续试,23点汇总,平均产量 $8056.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产5.17%,

达到极显著水平,增产点率87.0%。2016–2017年度参加黄淮冬麦区南片冬水组生产试验,产量为 $8643.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产5.27%,增产点率100.0%。区域试验、生产试验平均产量 $8301.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比周麦18(CK)增产5.28%,增产点率93.9%(表1)。

表1 郑品麦8号、豫丰11在黄淮冬麦区试验中的产量表现

品种	试验类别	年度	产量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	比CK± (%)	增产点 率(%)
郑品麦 8号	区域 试验	2012– 2013	7243.5	4.15 <sup>*</sup>	88.2
		2013– 2014	8745.0	3.95 <sup>**</sup>	90.0
	生产 试验	2014– 2015	8370.0	5.71	95.2
		平均	8119.5	4.60	91.1
豫丰 11	区域 试验	2014– 2015	8203.5	5.40 <sup>**</sup>	94.7
		2015– 2016	8056.5	5.17 <sup>**</sup>	87.0
	生产 试验	2016– 2017	8643.0	5.27	100.0
		平均	8301.0	5.28	93.9

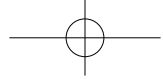
\*、\*\*分别表示在0.05、0.01水平上的差异显著性

**2.2 品质分析** 在农业部谷物品质监督检验测试中心(北京)对区域试验中的郑品麦8号和豫丰11抽混合样进行品质检测(表2)。郑品麦8号2013年、2014年品质检测结果为:容重 $799\text{g}/\text{L}$ 、 $816\text{g}/\text{L}$ ,硬度指数67、65,蛋白质(干基)含量15.13%、14.32%,湿面筋含量32.0%、30.2%,沉降值 $37.2\text{mL}$ 、 $28.1\text{mL}$ ,吸水率57.6%、60.3%,稳定时间8.0min、7.9min,最大抗延阻力456E.U.、378E.U.,拉伸面积 $88\text{cm}^2$ 、 $71\text{cm}^2$ ,延伸性143mm、137mm。2015年、2016年豫丰11品质检测结果为:容重 $814\text{g}/\text{L}$ 、 $808\text{g}/\text{L}$ ,

表2 郑品麦8号和豫丰11主要品质指标测试结果

品种	年份	籽粒容重 ( $\text{g}/\text{L}$ )	硬度 指数	蛋白质 含量 (%)	湿面筋含量 (%)	沉降值 ( $\text{mL}$ )	吸水率 (%)	稳定时间 (min)	最大抗 延阻力 (E.U.)	拉伸面积 ( $\text{cm}^2$ )	延伸性 (mm)
郑品麦8号	2013	799	67	15.13	32.0	37.2	57.6	8.0	456	88	143
	2014	816	65	14.32	30.2	28.1	60.3	7.9	378	71	137
	平均	808	66	14.73	31.1	32.7	59.0	7.95	417	79.5	140
豫丰11	2015	814	61	15.06	30.9	38.6	60.3	8.0	254	64	188
	2016	808	/	13.90	29.7	/	/	9.7	/	/	/
	平均	811	61	14.48	30.3	38.6	60.3	8.85	254	64	188

/表示该年度该项指标没有测试



硬度指数 61,蛋白质(干基)含量 15.06%、13.90%,湿面筋含量 30.9%、29.7%,沉降值 38.6mL,吸水率 60.3%,稳定时间 8.0min、9.7min,最大抗延阻力 254E.U.,拉伸面积 64cm<sup>2</sup>,延伸性 188mm。

参考《主要农作物品种审定标准 2014——小麦品种类型》,郑品麦 8 号和豫丰 11 的 2 年品质指标均达到强筋小麦品质标准。参考 GB/T 17320-2013《小麦品种品质分类》标准,郑品麦 8 号的硬度指数、蛋白质(干基)含量、湿面筋含量、稳定时间、最大抗延阻力等指标均达到强筋小麦品质标准,而吸水率、拉伸面积达到中强筋小麦标准,沉降值达到中筋小麦标准;豫丰 11 的硬度指数、蛋白质(干基)含量、湿面筋含量、吸水率、稳定时间等指标达到强筋小麦品质标准,沉降值达到中强筋小麦品质标准,最大抗延阻力和拉伸面积达到中筋小麦标准。

**2.3 特征特性及抗性分析** 郑品麦 8 号属半冬性中早熟品种,全生育期 226d,成熟期比周麦 18(CK)略早。幼苗匍匐,苗势壮,叶片宽卷,叶色浓绿,冬季抗寒性中等。分蘖力较强,成穗率偏低。春季起身拔节早,两极分化快,耐倒春寒能力一般,耐高温能力一般,熟相比较好。株高 81cm 左右,抗倒性较弱,株型松散,旗叶宽长、下披,穗层厚,穗叶同层。穗纺锤形,小穗稀,长芒、白壳、白粒,籽粒半角质、饱满度较好。平均亩穗数 39.1 万穗,穗粒数 31.4 粒,千粒重 47.1g。田间自然发病情况:高感白粉病、叶锈病,赤霉病较重,中感纹枯病、叶枯病。2013 年、2014 年中国农业科学院植物保护研究所人工接种鉴定结果为:条锈病近免疫/免疫,纹枯病高感/高感,叶锈病高感/高感,白粉病高感/高感,赤霉病高感/高感。

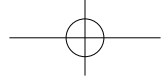
豫丰 11 属半冬性中早熟品种,全生育期 228d,成熟期比周麦 18(CK)略早。幼苗半直立,苗势旺,叶片宽短直立,叶色黄绿,冬季抗寒性较好。分蘖力中等,成穗率较高。春季起身拔节早,两极分化较快,抽穗早,耐倒春寒能力一般,耐高温能力一般,熟相比较好。株高 80cm 左右,茎秆弹性一般,抗倒性中等,株型稍松散,旗叶宽长、内卷、上冲,穗层厚,穗纺锤形,穗中等,穗码密,中长芒、白壳、白粒,籽粒半角质、饱满度较好。平均亩穗数 39 万穗,穗粒数 32 粒,

千粒重 48g。田间自然发病:高感叶锈病、白粉病,纹枯病较重,赤霉病中等,条锈病轻,黄花叶病毒病轻度发生。2015 年、2016 年中国农业科学院植物保护研究所人工接种抗性鉴定结果为:条锈病中抗/高抗,纹枯病中抗/高感,叶锈病中感/中抗,白粉病高感/高感,赤霉病高感/高感。

### 3 结论与讨论

我国小麦品种品质改良工作已经进行了近 30 年,一批强筋小麦品种豫麦 34、郑麦 9023、烟农 19、高优 503、藁城 8901、新麦 26、郑麦 366、西农 979 等陆续被选育和推广,我国小麦品种品质结构有所改善,但强筋品种和弱筋品种比例偏低,仍然以中筋品种为主。我国优质强筋小麦品种占有比例从 20 世纪 80 年代至 21 世纪初逐渐提升,但近年来随着我国小麦生产产量不断提高、实现小麦总产“十二连增”,主要品质性状则出现下滑趋势<sup>[4,20-21]</sup>,导致加工企业需要大量进口国外强筋小麦以补充日益增长的市场需求量,或者通过添加各种添加物以改良面粉或面制品品质。我国小麦生产的主要矛盾已由总量不足转变为结构性矛盾,推进农业供给侧结构性改革、提质增效成为重要任务。因此,培育出既优质又高产、抗病、抗逆的强筋小麦新品种,提升我国小麦质量成为急需解决的问题。

选育高产强筋小麦品种是一项复杂的育种工程,主要通过品种间杂交选育,以往育种实践证明,强筋小麦亲本材料的选配至少要含有一个强筋小麦品种(材料)以建立较高的品质改良基础<sup>[22]</sup>。同样,人工诱变技术也是小麦品质改良的有效途径,国内外利用辐射突变的方法,不仅创造了新的品质突变体,还选育出多个强筋小麦品种。黑龙江省农业科学院利用  $\gamma$  射线辐射结合杂交育种选育出龙辐麦 1 号、2 号、3 号等 10 余个强筋小麦品种;烟台市农业科学院采用阶梯式复合杂交和  $\gamma$  诱变技术相结合育成了高产、优质、抗病的大穗型小麦新品种烟辐 188<sup>[19]</sup>;新疆农业科学院利用 80Gy<sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线辐照杂交代种子培育成了早熟、优质、高产小麦新品种新春 26 号和新春 30 号<sup>[16]</sup>。本研究利用高产广适中筋小麦品种矮抗 58 和周麦 18 作亲本,通过<sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线对杂交 F<sub>0</sub> 或 F<sub>1</sub> 干种子进行辐照处理,



选育出中强筋小麦新品种郑品麦 8 号和豫丰 11。对 2 个新品种的高分子量谷蛋白亚基进行分析后发现均与亲本矮抗 58 一致(1,7+8,5+12),未发生变异,因此推断  $\gamma$  射线辐照处理对品质指标产生了新的小变异,还需要进一步研究。这些都表明传统杂交育种与辐照诱变育种技术相结合选育强筋小麦新品种是切实有效可行的,不仅有利于优质高产基因定向累加,还可以创造新基因,为今后强筋小麦育种提供参考。

传统小麦育种方法主要依靠育种家的经验根据小麦的表现型(农艺性状)进行选择,方法简单、直观,但育种周期长、预见性差、工作量大、效率低。随着科技的不断发展,先进的快速简便分析仪器的研发和相关生物技术的日趋成熟,给小麦育种提供了新的工具,针对性更强,大大提高了小麦的育种效率<sup>[23-24]</sup>。但与其他性状的改良相比,小麦品质性状的改良需要更多的专用仪器设备、人力、物力、财力。目前大多数小麦育种单位尚缺乏完备的品质育种技术体系,特别是缺乏在杂交后代选择阶段快速、准确、微量鉴定品质的分析检测手段,这势必影响到将来优质小麦品种选育的数量与质量。本研究利用近红外品质分析仪和微型粉质仪从 F<sub>3</sub>M<sub>3</sub> 或 F<sub>3</sub>M<sub>2</sub> 早期分离世代开始对田间表现突出的株行进行品质指标的检测,并在以后世代对品质指标采取连续定向跟踪检测,并以此作为品质性状筛选的依据,成功选育出 2 个优质、高产、稳产的小麦新品种郑品麦 8 号和豫丰 11,这表明从早期分离世代开始对重要品质指标进行连续定向跟踪检测的方法是可行的,研究为小麦杂交、诱变结合选育高产优质小麦品种提供了重要的实践经验。

#### 参考文献

- [1] 李振声. 我国小麦育种的回顾与展望. 中国农业科技导报, 2010, 12 (2): 1-4
- [2] 何中虎, 夏先春, 陈新民, 庄巧生. 中国小麦育种进展与展望. 作物学报, 2011, 37 (2): 202-215
- [3] 胡学旭, 王步军. 北部冬麦区和黄淮冬麦区小麦区试品种品质改良现状及建议. 中国种业, 2016 (11): 14-16
- [4] 胡学旭, 孙丽娟, 周桂英, 吴丽娜, 陆伟, 李为喜, 王爽, 杨秀兰, 宋敬可. 2006-2015 年中国小麦质量年度变化. 中国农业科学, 2016, 49 (16): 3063-3072
- [5] 曹莉, 王辉, 李学军, 孙道杰, 闵东红, 冯毅. 黄淮冬麦区小麦品质

- 性状与产量性状的关系研究. 干旱地区农业研究, 2003, 21 (2): 117-121
- [6] 杨春霞, 朱莲, 柳林景, 阙金华, 米明侠. 小麦籽粒若干品质特征及其与产量关系的研究. 江苏农业科学, 2001, 29 (4): 26-28
- [7] 王琳清, 陈秀兰, 柳学余. 小麦突变育种学. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004
- [8] 王峰, 王敏, 张从宇. 辐射诱变改良小麦品质特性的研究. 安徽农业大学学报, 2013, 40 (4): 575-579
- [9] Balyan H S, Gupta P K, Kumar S, Dhariwal R, Jaiswal V, Tyagi S, Agarwal P, Gahlaut V, Kumari S. Genetic improvement of grain protein content and other health-related constituents of wheat grain. Plant Breeding, 2013, 132 (5): 446-457
- [10] 张宏纪, 孙岩, 程爱华, 吴玉梅. 辐射与杂交结合提高小麦高分子量谷蛋白优质亚基转化效果的研究. 核农学报, 2001, 15 (6): 321-326
- [11] 温贤芳. 中国核农学. 郑州: 河南科学技术出版社, 1999
- [12] 范家霖, 张建伟, 杨保安, 张福彦, 胡秀菊, 程仲杰. 河南省小麦诱变育种进展与分析. 麦类作物学报, 2013, 33 (1): 195-199
- [13] 李新华, 邱登林, 孙桂芝, 徐相波. 山东省小麦诱变育种. 核农学报, 2006, 20 (1): 51-53
- [14] 王龙, 任立凯, 李强, 孙中伟, 王康君. 江苏省小麦育种及诱变育种技术的研究进展与展望. 江苏农业科学, 2014, 42 (6): 60-62
- [15] 张建伟, 杨保安, 郝爱民, 王柏楠, 刘秋芳, 吕丽萍, 程玉民. 利用辐射与杂交相结合创造小麦优异新种质的研究. 河南科学, 2003, 21 (2): 179-182
- [16] 吴振录, 樊哲儒, 何中虎, 李剑峰, 张跃强, 王岩军. 杂交与诱变相结合提高春小麦育种效果的研究. 麦类作物学报, 2010, 30 (5): 976-980
- [17] 孙光祖, 陈义纯, 张月学, 尚志敏. 辐射与杂交相结合选育高产优质小麦新品种龙辐麦 3 号. 核农学报, 1988 (4): 162-163
- [18] 张宏纪, 王广金, 刘录祥, 刁艳玲, 孙岩, 郭强, 闫文义, 刘东君, 黄景华, 商博, 孙光祖. 优质强筋春小麦新品种: 龙辐麦 17. 麦类作物学报, 2008, 28 (1): 176
- [19] 易杰忠. 烟辐 188 特征特性及高产调优栽培技术. 麦类作物学报, 2004, 24 (1): 103
- [20] 王美芳, 雷振生, 吴政卿, 杨会民, 杨攀, 徐福新, 刘加平. 黄淮冬麦区小麦产量及品质改良现状分析. 麦类作物学报, 2013, 33 (2): 290-295
- [21] 管香存, 周桂英, 吴丽娜, 王爽, 胡学旭, 陆伟, 王步军. 我国小麦品质现状分析. 麦类作物学报, 2006, 26 (6): 46-49
- [22] 赵宗武, 马华平, 杨丽娟, 赵酒林. 强筋小麦育种实践与探讨. 河南农业科学, 2012, 41 (11): 35-38
- [23] 刘媛媛, 王瑞芳, 张磊. 现代分析测试技术在小麦品质育种中的应用. 河南农业科学, 2006, 35 (4): 54-56
- [24] 林作楫, 雷振生, 杨攀, 王美芳. 中国小麦品质育种进展与问题. 河南农业科学, 2007, 36 (2): 5-8

(收稿日期: 2018-09-14)