

小麦春化基因的遗传效应研究

孙果忠^{1,2} 游光霞¹ 武淑祯² 张秀英¹ 王海波² 肖世和¹

(1. 中国农业科学院 作物科学研究所,北京 100081;2. 河北省农林科学院 遗传生理研究所 植物转基因中心,河北 石家庄 050051)

摘要:为了解小麦春化基因 *Vrn-1* 的遗传效应,以 15 个不同类型的小麦品种为试材,研究了不同春化处理对小麦发育进程的影响,并采用分子标记鉴定了上述品种的 *Vrn-1* 等位基因组成。结果表明,不同 *Vrn-1* 等位基因组合的小麦品种抽穗期存在很大差异;3 个显性 *Vrn-1* 等位基因的遗传效应表现为 $Vrn-A1 > Vrn-D1 > Vrn-B1$;春化基因具有累加效应,显性 *Vrn-1* 基因的存在使基因型呈现春性特征,不携带任何显性 *Vrn-1* 基因的基因型则表现为冬性。因此,采用春化基因分子标记可以很好地预测品种的冬春性。

关键词:小麦;春化基因;遗传效应

中图分类号:S512.03 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)06-0001-05

The Genetic Effect of Wheat Vernalization Gene

SUN Guo-zhong^{1,2}, YOU Guang-xia¹, WU Shu-zhen², ZHANG Xiu-ying¹, WANG Hai-bo², XIAO Shi-he¹

(1. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China;

2. Plant Genetic Engineering Center, Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: In order to understand the genetic effect of vernalization gene *Vrn-1*, the effect of vernalization treatment on development of 15 wheat cultivars was studied, and the allelic composition of the *Vrn-1* gene in 5A, 5B and 5D genomes in above cultivars were analyzed using the sequence-specific PCR. The results indicated that there is significantly difference in heading stages of genotype with different *Vrn-1* allele combinations. The genetic effect of three dominant *Vrn-1* alleles is follows: $Vrn-A1 > Vrn-D1 > Vrn-B1$; the vernalization genes have additive effects, the presence of a dominant *Vrn-1* allele in any genotype confers spring growth habit, whereas the presence of recessive alleles in the homozygous state confers winter growth habit. Therefore, the winter-spring character of cultivars can be confirmed according to the combination of vernalization genes.

Key words: Wheat; Vernalization gene; Genetic effect

小麦是禾谷类作物中适应性最广且在世界上多数国家广泛栽培的作物。小麦的适应性主要来自控制开花时间基因的利用,上述基因能调控整个生命周期或其中的一段时间,从而避开不利环境的危害。小麦开花主要受春化作用和光周期反应的基因控制^[1]。春化特性对小麦适应不同气候条件具有决定作用,小麦对春化的需求受遗传控制,春性表现为显性。小麦的春化反应主要受 3 个春化基因位点决定,*Vrn-A1*、*Vrn-B1* 和 *Vrn-D1* 为显性基因,分别位于小麦的 5A、5B 和 5D 染色体上,相应的隐性等位基

因为 *vrn-A1*、*vrn-B1* 和 *vrn-D1*^[2]。其中,*Vrn-A1* 对春化作用的效应最强,表现为对春化作用高度不敏感,并对其他 2 个基因具有上位性^[3]。

对 *Vrn-1* 等位基因的克隆和序列分析结果表明,春化基因的编码区在冬、春性小麦品种间无差异,而在其启动子或第一内含子区域存在较大差异,这些差异是导致小麦不同春化特性的主要内因^[4-6]。基于序列的多态性,已开发了检测上述等位基因的分子标记^[5-7],并广泛用于品种的春化基因检测^[8-10]。

收稿日期:2011-09-27

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2009CB118306);河北省财政专项(2009055001);中国农业科学院委托课题(nycytX-03)

作者简介:孙果忠(1973-),男,河北青县人,副研究员,博士,主要从事小麦遗传育种研究。

通讯作者:肖世和(1955-),男,四川广汉人,研究员,博士,主要从事小麦遗传育种研究。

王海波(1960-),男,河北满城人,研究员,博士,主要从事小麦遗传育种研究。

春化特性不但决定着小麦品种的区域分布,而且与品种的抗冻性、产量构成等因素密切相关。在黄淮麦区,因为播期掌握不好,造成秋播的弱春性品种经常遭受冬季冻害,导致严重减产^[11]。采用合适的春化处理也是缩短小麦育种周期,加快育种进程的重要措施^[12]。传统的冬春性鉴定方法费时费力,对栽培和气候条件也较为严格。因此,明确不同春化类型品种的遗传基础和发育规律,对品种的冬春性鉴定具有重要意义。

本研究以15个小麦品种为试材,研究了不同春化处理对小麦发育进程的影响,并采用基于基因序列的特异标记分析了上述品种的 *Vrn-1* 等位基因组成,旨在探讨不同春化基因组合的遗传效应,为小麦品种遗传改良、生产推广和温室加代等工作提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

以黄淮麦区的15个小麦品种为试材,它们是西农1376、小偃22、皖麦48、石7012、邯6172、徐州21、鲁麦22、鲁麦23、济麦20、郑麦9023、百农3217、周麦18、新麦18、京冬8号、京411。

1.2 方法

1.2.1 冬春性鉴定 挑选籽粒大小一致的种子,25℃、黑暗条件下浸泡12 h至露白。将上述露白种

子腹沟朝下摆在含双层湿润滤纸的培养皿内,每皿20粒,盖上皿盖,25℃、1 000 lx连续光照条件下培养2 d至长出胚芽鞘。将幼苗在6~8℃、500 lx连续光照条件下的培养箱内进行绿体春化。当心叶长出后,拿掉皿盖,定期观察,补充培养皿中的水分。按0,5,10,15,20,25,30,35,40 d分批进行绿体春化。

盆栽试验在河北省农林科学院遗传生理研究所日光温室进行。2008年5月4日将不同春化处理的幼苗同期移栽至温室的花盆中,培养基质为草炭土:蛭石:壤土:按1:1:2比例混配。采用自然光照加人工补光处理,控制光照16 h/d、黑暗8 h/d;温度控制在20~30℃。在水肥、病虫害防治等管理措施一致的条件下,以穗子完全抽出旗叶为标准,对单株挂牌标记抽穗期;以抽穗率100%作为每个处理通过春化的标志,温室生长85 d后统计试验结果。

1.2.2 春化基因检测 利用CTAB法提取幼苗叶片的DNA^[13],每份材料最少提取2份DNA。根据文献报道^[6-8]合成引物(表1),PCR反应体系为25 μL,总体积中含10×Buffer 2.5 μL, *Taq* DNA聚合酶1.25 U, dNTP混合物(每种10 mmol/L) 2.0 μL,每条引物5 μmol/L,模板DNA 30~40 ng。PCR反应程序为94℃变性4 min,94℃变性1 min,退火30 s,72℃延伸1~2 min,33个循环,72℃延伸10 min,PCR产物利用1.5%琼脂糖凝胶电泳检测。

表1 用于检测小麦春化基因等位类型的引物^[6-8]

Tab. 1 Primers for detecting the allelic types of vernalization genes in wheat

等位基因类型 Allelic type	引物序列 Sequence of primer	片段大小/bp Product size	退火温度/℃ Ann. temp.
<i>Vrn-A1a</i>	VRN1AF: 5'-GAAAGGAAAAATTCTGCTCG-3'	965 876	50
<i>Vrn-A1b</i>		714	
<i>Vrn-A1c</i>	VRN1-INT1R: 5'-GCAGGAAATCGAAATCGAAG-3'	734	
<i>vrn-A1</i>		734	
<i>Vrn-A1c</i>	Intr1/A/F2: 5'-AGCCTCCACGGTTTGGAAAGTAA-3' Intr1/A/R3: 5'-AAGTAAGACAACACGAATGTGAGA-3'	1 170	56
<i>Vrn-B1</i>	Intr1/B/F: 5'-CAAGTGAACGGTTAGGACA-3' Intr1/B/R3: 5'-CTCATGCCAAAAATTGAAGATGA-3'	709	63
<i>vrn-B1</i>	Intr1/B/F: 5'-CAAGTGAACGGTTAGGACA-3' Intr1/B/R4: 5'-CAAATGAAAAGGAATGAGAGCA-3'	1 149	58
<i>Vrn-D1</i>	Intr1/D/F: 5'-GTTGTCTGCCTCATCAAATCC-3' Intr1/D/R3: 5'-GGTCACTGGTGTCTGTGC-3'	1 671	65
<i>vrn-D1</i>	Intr1/D/F: 5'-GTTGTCTGCCTCATCAAATCC-3' Intr1/D/R4: 5'-AAATGAAAAGGAACGAGAGCG-3'	997	63

2 结果与分析

2.1 不同品种对低温春化响应的差异

以满足品种完全抽穗的春化天数作为品种对低温春化响应程度的临界点。达到临界点时植株可以

顺利抽穗;没有达到临界点的植株不能抽穗或部分抽穗,且抽穗期显著延迟(图1)。不同类型品种对低温春化的反应呈现阶梯式的分布(表2)。依据春化需求,供试品种大致可以分为3类:春性(西农1376、皖麦48、石7012、徐州21、郑麦9023)、半冬性

(百农 3217、周麦 18、鲁麦 22、鲁麦 23、济麦 20)、冬性(邯 6172、京冬 8 号、京 411、小偃 22、新麦 18)。3 种类型满足春化的临界天数依次为: 春性 0~5 d, 半冬性 20~25 d; 冬性 30~35 d。据此可以推断当供试品种足够多时, 上述阶梯式分布会呈现渐变式的连续性趋势。

同一品种随春化处理时间的延长, 苗穗期呈现缩短的趋势, 且同一处理内植株抽穗期变异小; 随春化天数的缩短, 苗穗期延长, 且同一处理内植株抽穗期的变异大。同一类型品种在满足春化的临界点时, 不同品种间苗穗期存在很大差异; 在未进行春化处理的条件下, 西农 1376 的苗穗期为 46 d, 而 7012 的苗穗期为 72 d。上述结果表明, 除春化作用外, 还存在光周期、早熟性等影响植株发育速度的因素。

多数品种在接近春化临界点的处理中会出现部分抽穗的现象, 表明春化作用是在群体水平上逐渐积累的过程。进行小麦温室加代通常需要明确最短

时间内完成一个世代所需的春化和苗穗期组合。由表 2 可见, 不同品种在最短时间内完成一个世代的最佳春化处理与春化临界点无关。对多数品种而言, 充足的春化处理是加速植株由营养生长向生殖生长转变的前提。

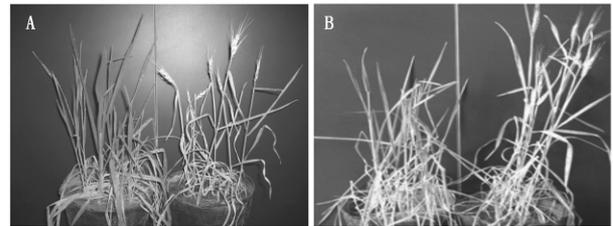


图 1 小麦植株在春化临界点的生长状况
A. 百农 3217: 左, 春化 15 d; 右, 春化 20 d; B. 京冬 8 号: 左, 春化 30 d; 右, 春化 35 d。图为小麦植株温室生长 60 d 后的照片。

A. Bainong 3217: Left. Vernalization 15 d; Right. Vernalization 20 d; B. Jingdong 8: Left. Vernalization 30 d; Right. Vernalization 35 d. Photos were taken on the 60th day after wheat seedling is transplanted in greenhouse.

图 1 小麦植株在春化临界点的生长状况
Fig. 1 The growth state of wheat plant in critical points of vernalization

表 2 不同春化处理的小麦品种苗穗期

Tab. 2 The Seedling-heading period of wheat cultivars by different vernalization

品种 Cultivars	春化天数/d Days of vernalization									春化至抽穗天数/d The days from vernalization to heading
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
西农 1376 Xinong 1376	46 ± 3	41 ± 3	40 ± 4	39 ± 3	36 ± 5	33 ± 7	29 ± 3	30 ± 2	30 ± 4	46 ± 3
皖麦 48 Wanmai 48	55 ± 7	53 ± 8	49 ± 7	45 ± 5	42 ± 5	41 ± 2	35 ± 1	34 ± 0	33 ± 2	55 ± 7
石 7012 Shi 7012	72 ± 10	63 ± 9	48 ± 4	39 ± 2	36 ± 1	34 ± 1	32 ± 2	31 ± 1	29 ± 1	54 ± 2
徐州 21 Xuzhou 21	72 ± 7	69 ± 5	56 ± 8	48 ± 3	41 ± 2	36 ± 2	37 ± 3	36 ± 3	35 ± 2	61 ± 2
郑麦 9023 Zhengmai 9023	-	55 ± 10	52 ± 8	49 ± 1	42 ± 4	36 ± 4	34 ± 2	32 ± 3	31 ± 3	60 ± 2
百农 3217 Bainong 3217	-	-	-	-	41 ± 2	38 ± 4	34 ± 1	33 ± 2	33 ± 3	61 ± 2
周麦 18 Zhoumai 18	-	-	-	-	57 ± 5	46 ± 4	47 ± 4	45 ± 5	44 ± 3	71 ± 4
鲁麦 22 Lumai 22	-	-	-	-	59 ± 10	45 ± 7	43 ± 3	42 ± 1	39 ± 6	70 ± 7
鲁麦 23 Lumai 23	-	-	-	-	61 ± 8	59 ± 4	45 ± 6	44 ± 5	43 ± 4	75 ± 6
济麦 20 Jimai 20	-	-	-	-	*	40 ± 11	31 ± 5	29 ± 0	29 ± 2	61 ± 5
邯 6172 Han 6172	-	-	-	-	-	-	65 ± 6	60 ± 3	45 ± 4	85 ± 4
京冬 8 号 Jingdong 8	-	-	-	-	-	-	*	58 ± 9	47 ± 12	87 ± 12
京 411 Jing 411	-	-	-	-	-	-	*	60 ± 10	58 ± 10	95 ± 10
小偃 22 Xiaoyan 22	-	-	-	-	-	-	*	62 ± 15	55 ± 13	95 ± 13
新麦 18 Xinmai 18	-	-	-	-	-	-	*	73 ± 8	65 ± 7	105 ± 7

注: 苗穗期为春化后的幼苗从移栽到抽穗所需的时间, 以平均值 ± 标准差表示。“-”表示未抽穗。“*”表示抽穗率低于 50%; “下划线”表示完成一个世代所需的最佳春化处理和苗穗期组合。

Note: Seedling-heading period means the duration from transplanting of seedlings to heading, which was represented by average value ± standard deviation. “-” means not heading. “*” means the heading ratio of total plants below 50%; “Underline” means the best treatment to finish one generation including the vernalization and seedling-heading period.

2.2 不同春化基因组合的遗传效应

利用基因位点特异标记进行春化等位基因检测的结果表明(表 3, 图 2~4), 不同 *Vrn-1* 等位基因组合对小麦生育进程的调控存在很大差异。具有 *Vrn-A1* + *Vrn-D1* 基因组合的西农 1376、皖麦 48、石 7012、徐州 21 不用春化即可抽穗; 具有 *Vrn-A1* + *Vrn-B1* 基因组合的郑麦 9023 需春化 5 d 可以抽穗; 具有 *Vrn-A1* 基因的鲁麦 22、鲁麦 23 需春化 20 d 才

可以抽穗; 具有 *Vrn-D1* 基因的百农 3217、周麦 18、济麦 20 需要春化 20~25 d 才可以抽穗; 不携带任何春化基因的邯 6172、京冬 8 号、京 411、小偃 22 和新麦 18 需要春化 30~35 d 才可以抽穗。3 个显性春化基因的遗传效应存在差异, 呈现 *Vrn-A1* > *Vrn-D1* > *Vrn-B1* 的趋势。春化基因具有累加效应, 如 *Vrn-A1* + *Vrn-D1* 基因累加后, 对低温春化的需求远远低于单一的 *Vrn-A1* 或 *Vrn-D1* 基因。

依据冬春性鉴定和春化基因检测的结果可以初步判定,对于黄淮麦区的品种,当具有2个春化基因时一般表现为春性;具有1个春化基因时表现为半冬性;不携带任何春化基因时表现为冬性。

表3 小麦春化基因的遗传效应

Tab.3 The genetic effect of wheat vernalization gene

品种 Cultivars	VRN-1 等位基因检测 Detection of VRN-1 alleles			春化临界点/d Critical points of vernalization
西农 1376 Xinong 1376	<i>Vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	0
皖麦 48 Wanmai 48	<i>Vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	
石 7012 Shi 7012	<i>Vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	
徐州 21 Xuzhou 21	<i>Vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	
郑麦 9023 Zhengmai 9023	<i>Vrn-A1</i>	<i>Vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	5
鲁麦 22 Lumai 22	<i>Vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	20
鲁麦 23 Lumai 23	<i>Vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	
百农 3217 Bainong 3217	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	
周麦 18 Zhoumai 18	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	
济麦 20 Jimai 20	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>Vrn-D1</i>	25
邯 6172 Han 6172	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	30
京冬 8 号 Jingdong 8	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	35
京 411 Jing 411	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	
新麦 18 Xinmai 18	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	
小偃 22 Xiaoyan 22	<i>vrn-A1</i>	<i>vrn-B1</i>	<i>vrn-D1</i>	

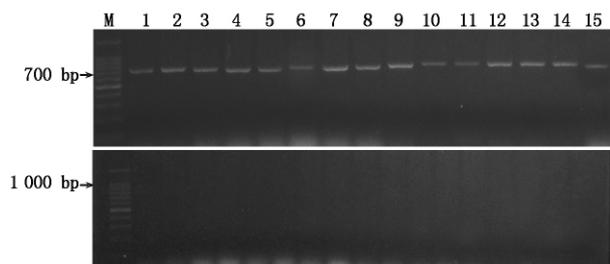


Fig.2 Allelic variations of *Vrn-A1* amplified with the primer sets of VRN1AF & VRN1-INT1R and Intr1/A/F2 & Intr1/A/R3. M. Marker; 1. Xinong 1376; 2. Wanmai 48; 3. Shi 7012; 4. Xuzhou 21; 5. Zhengmai 9023; 6. Bainong 3217; 7. Lumai 22; 8. Lumai 23; 9. Zhoumai 18; 10. Jimai 20; 11. Han 6172; 12. Jingdong 8; 13. Jing 411; 14. Xinmai 18; 15. Xiaoyan 22(The same as Fig. 3 A)。

图2 特异性引物检测 *Vrn-A1* 基因的等位变异

Fig.2 Allelic variations of *Vrn-A1* amplified with the primer sets of VRN1AF & VRN1-INT1R and Intr1/A/F2 & Intr1/A/R3

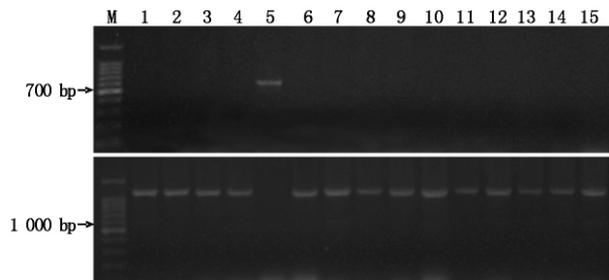


Fig.3 Allelic variations of *Vrn-B1* amplified with the primer sets of Intr1/B/F & Intr1/B/R3 and Intr1/B/F & Intr1/B/R4. The upper is Intr1/B/F Intr1/B/R3; The under is Intr1/B/F Intr1/B/R4.

图3 *Vrn-B1* 基因的等位变异

Fig.3 Allelic variations of *Vrn-B1* amplified with the primer sets of Intr1/B/F & Intr1/B/R3 and Intr1/B/F & Intr1/B/R4

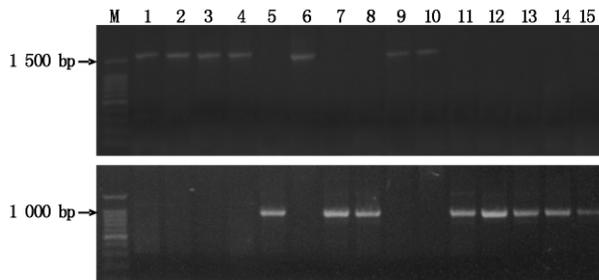


Fig.4 Allelic variations of *Vrn-D1* amplified with the primer sets of Intr1/D/F & Intr1/D/R3 and Intr1/D/F & Intr1/D/R4. The upper is Intr1/D/F and Intr1/D/R3, the under is Intr1/D/F and Intr1/D/R4.

图4 *Vrn-D1* 基因的等位变异

Fig.4 Allelic variations of *Vrn-D1* amplified with the primer sets of Intr1/D/F & Intr1/D/R3 and Intr1/D/F & Intr1/D/R4

3 讨论

适应性是小麦品种高产、稳产的基础,适应性好的品种不仅能够高效利用水、肥、光、温资源,也能有效抵御干旱、冻害等自然灾害造成的损失^[14-17]。春化基因对调控小麦品种适应不同气候条件具有决定作用。掌握品种的冬春性特点,已成为小麦品种培育、审定、推广、异地繁殖和温室加代等工作的重要内容^[18,19]。传统的冬春性鉴定方法费时费力,且对栽培和气候条件要求严格。随着 *Vrn-1* 等位基因的克隆,利用特异标记可以方便地鉴定品种的春化基因型。本研究表明,品种的春化 *Vrn-1* 等位基因组成、春化临界点及发育进程三者之间密切相关,通过品种的 *Vrn-1* 等位基因组成可以较好地确定其冬春

性。由于植株的发育受春化、光周期、早熟性等因素协同作用,要精确判断春化基因遗传效应,尚需扩大供试品种数量或利用春化基因近等基因系为试材。

致谢:感谢中国农业科学院作物科学研究所李秀全副研究员、安徽农业大学常成副教授、西北农林科技大学阎东红副教授、河南农科院胡琳研究员、河北农林科学院遗传生理研究所赵和研究员为本研究提供试验材料。

参考文献:

- [1] Upton F G H L. 北京农业大学遗传育种研究室译. 小麦育种的理论基础 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988, 150.
- [2] Law C N, Worland A J, Giorgi B. The genetic control of ear emergence time by chromosomes 5A and 5D of wheat [J]. *Heredity*, 1975, 36: 49 - 58.
- [3] Pugsley A T. A genetic analysis of the spring wheat habit in wheat [J]. *Aust J Agric Res*, 1971, 22: 21 - 31.
- [4] Yan L, Loukojanov A, Tranquillo G *et al.* Positional cloning of wheat vernalization gene VRN1 [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2003, 100(10): 6263 - 6268.
- [5] Yan L, Helguera M, Kato K *et al.* Allelic variation at the VRN-1 promoter in polyploidy wheat [J]. *Theor Appl Genet*, 2004, 109(8): 1677 - 1686.
- [6] Fu D, Szucs P, Yan L *et al.* Large deletions within the first intron in VRN-1 are associated with spring growth habit in barley and wheat [J]. *Mol Gen Genomics*, 2005, 273(1): 54 - 65.
- [7] Sherman J D, Yan L, Talbert L *et al.* A PCR marker for growth habit in common wheat based on allelic variation at the *Vrn-A1* gene [J]. *Crop Sci*, 2004, 44: 1832 - 1838.
- [8] Zhang X K, Xia X C, Xiao Y G *et al.* Allelic variation at the vernalization genes *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1* and *Vrn-B3* in Chinese common wheat cultivars and their association with growth habit [J]. *Crop Sci*, 2008, 48: 458 - 470.
- [9] 张晓科, 夏先春, 何中虎, 等. 用 STS 标记检测春化基因 *Vrn-A1* 在中国小麦中的分布 [J]. *作物学报*, 2006, 2(7): 1038 - 1043.
- [10] Santra D K, Santra M, Allan R E *et al.* Genetic and molecular characterization of vernalization genes *Vrn-A1*, *Vrn-B* and *Vrn-D1* in spring wheat germplasm from the Pacific Northwest region of the USA [J]. *Plant Breeding*, 2009, 128, 576 - 584.
- [11] 秦君, 王海波, 董毓琨. 华北地区冬小麦冬性程度的界定 [J]. *华北农学报*, 2002, 17(增刊): 44 - 49.
- [12] 杨宗渠, 尹钧, 周冉, 等. 黄淮海区不同小麦基因型的春化发育特性研究 [J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(2): 82 - 85.
- [13] 王国英. 基因工程实验技术 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 43 - 46.
- [14] 李明兵, 刘浩同. 小麦品种产量性状与栽培育种的关系 [J]. *安徽农业科学*, 1993, 4: 35 - 38.
- [15] 柴建方, 马民强, 谢小亮, 等. 外源激素对冬小麦春化作用的影响 [J]. *华北农学报*, 2000, 25(1): 23 - 27.
- [16] 郭洪雪, 宋希云, 燕增文, 等. 高温胁迫对小麦幼苗几个生理生化指标的影响 [J]. *华北农学报*, 2007, 22(S1): 75 - 78.
- [17] 王娟玲. 小麦抗旱性与形态特征的关系 [J]. *山西农业科学*, 1991, 12: 14 - 16.
- [18] 徐静, 孙敏, 苗果园, 等. 小黑麦与普通小麦春化特性差异研究 [J]. *山西农业科学*, 2009, 37(3): 43 - 46.
- [19] 宋晓彦, 孙敏. 播期对不同生态型小麦品种幼穗分化的影响 [J]. *山西农业科学*, 2009, 37(7): 22 - 25.