

Rht8、*Rht10*、*Rht12* 矮秆基因对小麦 营养生长和生殖生长发育的影响

李杏普¹, 兰素缺¹, 张业伦¹, 张京惠¹, 冯延茹¹, 刘书娥¹, Gale M D², Worland T J²

(1. 河北省农林科学院 粮油作物研究所, 河北省农作物遗传育种重点实验室, 河北 石家庄 050031;

2. Innes Centre Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UH, United Kingdom)

摘要: 两年、两地的试验结果证明, *Rht8* 半矮秆基因对地上部生物产量较 *Rht10* 和 *Rht12* 有显著的正向作用, 并且生长发育较早, 较接近目前推广种的生育时期, 对不良环境有较强的适应性, 利于产量性状的形成。 *Rht10* 的降秆作用最强, 但由于节间缩短太多, 造成地上部生物产量明显降低, 使籽粒形成时提供营养的“源”太少, 不利于高产。 *Rht12* 矮秆基因的降秆程度显著高于 *Rht8*, 但生物产量亦太低、成熟太晚和对环境条件的不适应, 影响籽粒产量的提高, 在以降秆为主要目标的育种中利用价值较大。

关键词: 冬小麦; 矮秆基因; 近等基因系; 营养生长; 发育期

中图分类号: S512.03 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)增刊-0050-04

Effects of *Rht8*, *Rht10* and *Rht12* Semi-dwarfing and Dwarfing Genes on Wheat Vegetative and Reproductive Development

LI Xing-pu¹, LAN Su-que¹, ZHANG Ye-lun¹, ZHANG Jing-hui¹,

FENG Yan-ni¹, LIU Shu-e¹, Gale M D², Worland T J²

(1. Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031, China; 2. John Innes Centre, Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UH, United Kingdom)

Abstract: The results of two years' experiments showed that the *Rht8* semi-dwarf gene had significant positive effect on aboveground biomass comparing with *Rht10* and *Rht12* dwarf genes, but had negative effects on spike length. The development period of the line carrying *Rht8* gene, with early maturity, was closer to the varieties released currently. So, it had high adaptability to different environments and was more conducive to the formation of yield components. *Rht10* dwarf gene had the strongest negative effect on plant height. Because the internodes were shortened too much, resulting in above-ground biomass largely decreased, so that the nutrition "source" of grain formation was small and was not conducive to high yield of wheat. Dwarf gene *Rht12* had significantly positive effect on shorten plant height than *Rht8* semi dwarf gene, but the line with *Rht12* also had lower aboveground biomass, late maturity and was not suited to the environmental conditions, so that the increase of grain yield may be affected.

Key words: Winter wheat; Dwarfing gene; Near-isogenic line (NILs); Vegetative growth; Development period

Rht8 半矮秆基因来源于日本的赤小麦, 位于 2D 染色上^[1,2], 为隐性, 并对 GA₃ 敏感的基因。 *Rht10* 矮秆基因来源于矮变一号, 位于 4DS 染色体上^[3,4], 为不完全显性, 对 GA₃ 不敏感。 *Rht12* 矮秆基因来源于 Karcag 522 辐射突变体, 位于 5A 染色体上^[5,6], 为显性, 并对 GA₃ 不敏感。 目前世界上诸多

学者对 *Rht1*、*Rht2* 和 *Rht3* 矮秆或半矮秆基因在小麦育种中的利用价值研究的较多^[7-13], 对 *Rht8*、*Rht10* 和 *Rht12* 矮秆基因研究的较少。 因此, 本试验利用以 MER 为背景分别携带 5 个不同矮秆基因的 5 个近等基因系, 来排除其他基因的干扰, 在石家庄和沧州两地进行了 2 年的田间随机区组设计试验。 试

收稿日期: 2009-04-07

基金项目: 河北省基金(C200500637); 国家支撑子项目(2006BAD13B02-08); 河北省支撑项目(20071148001)

作者简介: 李杏普(1957-), 女, 河北辛集人, 研究员, 学士, 主要从事小麦遗传资源研究。

图探讨这些矮秆基因在小麦育种中的利与弊, 为育种或其他小麦工作者提供参考。

1 材料和方法

试验材料: 以冬麦品种 MER(*rht*) 为背景, 进行多年回交转育并经 GA₃ 生化鉴定、遗传鉴定和幼苗鉴定证实的 1 套(5 个)近等基因系(英国剑桥大学提供)。这些基因系分别含有 *Rht8*、*Rht10*、*Rht12*、*Rht1* (B) (为 Bejaya 矮秆等位基因)、*Rht1* (S) (为 Saitama 等位基因) 5 种不同的基因类型。1997—1998 年, 分别在石家庄和沧州, 种植上述 5 个基因系。条播种植, 每个系种一小区, 重复 3 次, 随机排列, 每小区 4 行, 行长 1.20 m, 行距 15~20 cm, 每平方米 330 株。在小麦生育期间浇水 4~5 次并及时施肥除病虫。植株生长期间或成熟后, 每小区取有代表性的 10 株, 调查株高、穗长 地上部生物产量、节间长度、旗叶和倒二叶长、宽和面积、生育期、拔节期、抽穗期、

开花期等营养生长和生殖生长特征特性。进行不同基因、不同性状间的差异显著性测验和 SSR 比较。

2 结果与分析

2.1 *Rht* 基因对小麦植株营养生长特性的影响

地上部生物产量, 在沧州 2 年试验各基因系之间差异均达显著或极显著水平。其生物产量大小顺序依次为 *Rht8*> *Rht1* (S)> *Rht1* (B)> *Rht12*> *Rht10* (表 1)。

穗长, 两年、两地结果基本一致, 各基因系之间的差异均达显著水平。无论是哪年、还是在任意地点, *Rht1* (B) 基因系的穗长显著高于 *Rht8* 系。在沧州, 两个不同来源的 2 个 *Rht1* 基因系显著长于 *Rht8*、*Rht10* 和 *Rht12* 基因系, 后三者或前两者之间均差异不显著。在石家庄两年均为 *Rht* (B)、*Rht1* (S)、*Rht10*、*Rht12* 四个基因系显著长于 *Rht8* 基因系 (表 1)。

表 1 不同近等基因系的营养生长性状表现

Tab. 1 Performance of vegetative characteristics of different near isogenic lines										
基因型 Genotypes	地上部生物产量(沧州) / (g/m ²)		穗长/ cm Spike length		穗茎节长或第一节长/ cm First node length					
	Biomass above ground									
	沧州 Cangzhou		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
<i>Rht</i> — <i>B1b</i> (B)	491.5	516.3	10.9	12.7	9.6	9.3	26.3	25.7	23.8	24.0
<i>Rht</i> — <i>B1b</i> (S)	736.5	900.0	10.1	11.3	8.9	9.0	25.6	27.5	22.9	22.2
<i>Rht8</i>	865.3	1 367.6	8.9	8.4	7.3	7.3	27.4	26.4	22.2	23.4
<i>Rht10</i>	338.5	99.8	10.3	11.7	7.7	7.5	10.3	8.2	6.4	6.5
<i>Rht12</i>	354.5	277.0	10.2	11.9	7.5	7.3	12.0	15.5	6.8	6.7
	**	**	*	*	*	*	**	**	**	**

注: *, ** 分别为该性状的该套近等基因系之间达到显著水平 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 。下同。
Note: *, **. Significant at $P=0.05$ and $P=0.01$ respectively. The same belowed.

穗茎节间长度: 茎节间长度, 两年、两地结果表明 *Rht1* (B)、*Rht1* (S) 和 *Rht8* 的穗茎节显著长于 *Rht10* 和 *Rht12*, 前三者之间差异不显著, 后两者之间 *Rht10* 显著大于和 *Rht12*。

倒二节间长度的大小顺序为: *Rht8*> *Rht1* (S)> *Rht1* (B)> *Rht12*> *Rht10*, 前三者显著长于后二者。1998 年在石家庄 *Rht8* 显著长于 *Rht1* (S) 和 *Rht1* (B), 后两者之间差异不显著, *Rht8* 和 *Rht10* 之间差异不显著。在沧州两年 *Rht8* 均显著长于 *Rht1* (B)、*Rht8* 和 *Rht1* (S) 之间差异不显著, *Rht12* 显著长于 *Rht10* (表 2)。

倒三节间长度, 两年、两地 *Rht8* 显著长于 *Rht10* 和 *Rht12*。在石家庄两年 *Rht1* (B) 和 *Rht1* (S) 显著长于 *Rht10* 和 *Rht12*, 前两者或后 2 者之间差异不显著。在沧州 2 年各个基因系之间差异均达到显著水平, 其大小顺序为: *Rht8*> *Rht1* (S)> *Rht1* (B)>

Rht12> *Rht10*。
倒四节间长度, 两年、两地试验证明其平均节间长度的大小顺序为: *Rht8*> *Rht1* (S)> *Rht1* (B)> *Rht12*> *Rht10*。

倒五节间长度, 两年两地试验, *Rht1* (S) 显著大于 *Rht8* 和 *Rht10*。在石家庄, *Rht1* (B) 和 *Rht8* 之间或 *Rht10* 和 *Rht12* 之间均差异不显著。沧州 *Rht8* 显著大于 *Rht1* (B)、*Rht1* (S)、*Rht10* 和 *Rht12*。*Rht1* (B) 和 *Rht1* (S) 或 *Rht10* 和 *Rht12* 之间差异不显著。

倒六节间长度, *Rht1* (B) 显著长于其他, 其他基因系节间长度均为零 (表 2)。

叶子特性: 旗叶长在石家庄 2 年各基因系之间差异达显著水平。结果为 *Rht1* (B) 显著长于其他 4 个系, *Rht10* 显著短于其他系, *Rht8* 和 *Rht10* 之间差异不显著。1998 年 *Rht1* (S) 显著长于 *Rht8*、*Rht10* 和 *Rht12*。旗叶宽的年际间和不同基因系之间均差

异不显著(表 3)。

表 2 不同近等基因系的不同茎节间长度比较

Tab. 2 Comparison of different node length of different near isogenic lines																				
基因型 Genotypes	第二茎节长/ cm Second internodes length				第三茎节长/ cm Thiid internodes length				第四茎节长/ cm Fourth internodes length				第五茎节长/ cm Fifth internodes length				第六茎节长/ cm Sixth internodes length			
	石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
	<i>Rht—B1b</i> (B)	14.0	11.6	11.1	11.0	8.2	8.0	6.7	6.9	5.8	5.5	4.8	4.7	3.7	2.7	3.0	2.6	0	0.3	0.6
<i>Rht—Bl b</i> (S)	13.5	11.6	13.9	14.6	8.7	8.1	9.2	9.6	7.0	6.8	6.8	6.5	4.0	3.6	4.6	3.8	0	0	0	0
<i>Rht8</i>	16.0	15.8	15.7	16.2	11.3	9.8	11.4	11.0	7.7	7.2	11	10.5	2.8	2.6	6.1	5.5	0	0	0	0
<i>Rhtl0</i>	6.1	7.1	3.4	3.5	3.5	4.1	2.6	2.4	2.5	3.1	1.8	2.0	1.6	1.8	0.6	0.7	0	0	0	0
<i>Rhtl2</i>	6.4	7.7	6.5	6.4	4.7	5.0	5.6	5.5	3.1	4.3	4.0	3.9	1.6	1.6	2.1	1.9	0	0	0	0
	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	*	*	**	**	*	*	*	*

表 3 石家庄不同近等基因系叶部性状平均表现

Tab. 3 Performance of leaf characteristics of different near isogenic lines in Shijiazhuang													
基因型 Genotypes	旗叶长/ cm Flag leaf length		旗叶宽 / cm Flag leaf width		旗叶面积/ cm ² Flag leaf area		倒二叶长/ cm Top two leaf length		倒二叶宽/ cm Top two leaf width		倒二叶面积/ cm ² Top two leaf area		
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	
	<i>Rht—B1b</i> (B)	30.2	32.3	1.99	2.33	49.81	63.27	32.53	37.73	1.76	1.70	47.58	53.23
<i>Rht—B1b</i> (S)	23.4	31.4	1.99	2.27	38.62	59.4	27.77	31.27	1.76	1.80	40.53	46.77	
<i>Rht8</i>	21.1	25.4	2.09	2.13	36.58	45.17	23.90	27.20	1.66	1.63	32.94	37.03	
<i>Rhtl0</i>	16.6	20.4	2.19	2.33	30.05	39.60	21.63	24.67	2.00	1.93	35.81	39.80	
<i>Rhtl2</i>	19.2	25.7	2.06	2.27	32.39	48.43	22.07	30.00	1.97	2.00	35.85	49.83	
	*	*			**	**	**	**	*	*	**	**	

旗叶面积, 2 年结果 *Rhtl* (B)系显著大于其他系, *Rhtl0* 显著小于其他系。1997 年 *Rhtl* (S)和 *Rht8* 系显著大于 *Rhtl0* 和 *Rhtl2*, 后两者之间差异不显著。1998 年, *Rhtl* (S) 显著大于其他系, *Rht8* 和 *Rhtl2* 之间差异不显著, 两者显著大于 *Rhtl0* 系。

倒二叶长, 2 年 *Rhtl* (B)半矮秆基因系显著长于其他系, *Rhtl0* 矮秆基因系最短。1997 年, *Rhtl* (S) 显著长于 *Rht8*、*Rhtl0* 和 *Rhtl2*。后三者之间差异不显著。1998 年 *Rhtl* (S)与 *Rhtl2* 差异不显著。两者

显著长于 *Rht8* 和 *Rhtl0*, 后两者之间差异不显著。

倒二叶宽, 2 年 *Rhtl0* 和 *Rhtl2* 显著宽于其他 3 个系。1997 年, *Rhtl* (B)、*Rhtl* (S)和 *Rht8* 之间差异不显著。1998 年, *Rhtl* (S)显著宽于 *Rht8* 系。

倒二叶面积, 2 年 *Rhtl* (B)显著大于其他 4 个系。1997 年 *Rhtl* (S) 显著大于 *Rht8*、*Rhtl0* 和 *Rhtl2*, 后三者之间差异不显著。1998 年, *Rhtl* (S)和 *Rhtl2* 之间差异不显著, 两者显著大于 *Rht8* 和 *Rhtl0*。后两者之间差异不显著。

表 4 不同近等基因系生育期等农艺性状表现

Tab. 4 Performance of development characteristics of different near isogenic lines											
基因型 Genotypes	抽穗天数 Heading days			开花天数(石家庄)拔节天数(石家庄)				株高/ cm Plant height			
	石家庄 Shijiazhuang		沧州(1997) Cangzhou	Flowering days		Elongation days		石家庄 Shijiazhuang		沧州 Cangzhou	
	1997	1998		1997	1998	1997	1998	1997	1998		
<i>Rht—B1b</i> (B)	4.0	13.0	8.5	10.0	17.3	4.0	7.7	71.3	70.0	59.4	59.0
<i>Rht—B1b</i> (S)	4.0	13.0	6.5	11.7	15.7	5.0	7.3	71.7	72.3	66.6	66.2
<i>Rht8</i>	2.7	1.3	2.2	5.8	5.9	1.7	3.0	82.0	78.0	73.6	73.9
<i>Rhtl0</i>	8.3	21.0	10.5	16.3	20.3	7.0	20.7	33.0	36.0	22.3	22.6
<i>Rhtl2</i>	7.3	22.3	10.5	15.0	21.0	11.3	17.3	43.7	55.7	32.1	31.5
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

注: 抽穗天数, 从 5 月 1 日到抽穗的天数; 开花天数, 从 5 月 1 日到开花的天数; 拔节天数, 从 3 月 5 日到拔节的天数。
Note: Heading days, days from May 1 to heading; Flowering day, days from May 1 to Flowering; Elongation days, days from March 5 to Elongation.

株高, 在两年、两地的试验表明, 携带不同 *Rht* 矮秆基因的各近等基因之间的差异均达到显著或极显著水平。其株高大小顺序为: *Rht8* > *Rhtl* (S) ≈ *Rhtl* (B) > *Rhtl2* > *Rhtl0*。表现出 *Rhtl2* 和 *Rhtl0*

的降秆能力较强。同一地点年际之间差异不显著。但不同的地点同一基因系之间差异显著, 石家庄的株高 2 年均显著高于沧州。*Rhtl* 和 *Rht8* 矮秆基因控制的植株高度较接近于生产用种的高度, 所以可

直接应用于育种。而 *Rht10* 和 *Rht12* 在小麦育种中利用时需要用一些修饰基因搭配为妥(表4)。

2.2 *Rht* 基因对生育期的影响。

拔节期: 石家庄两年结果 *Rht8* 基因系显著早于其他4个基因系。*Rht10* 和 *Rht12* 显著晚于其他三者。*Rht1* (B)和 *Rht1* (S)之间差异不显著。1997年 *Rht10* 早于 *Rht12*。1998年 *Rht12* 早于 *Rht10* (表4)。

抽穗期: 石家庄和沧州的结果一致。*Rht8* 最早, *Rht1* (B)和 *Rht1* (S)居中, *Rht10* 和 *Rht12* 最晚, *Rht1* (B)和 *Rht1* (S)或 *Rht10* 和 *Rht12* 之间均差异不显著。

开花期: 结果同抽穗期 *Rht8* 最早, *Rht1* (B)和 *Rht1* (S)居中, *Rht10* 和 *Rht12* 最晚。

2.3 在不同生态类型区 *Rht* 基因系的遗传差异

两地试验结果证明, 不同基因系各性状之间差异均达显著水平。在石家庄试验的穗长显著高于沧州, 各个系的株高和穗茎节亦均显著长于沧州, 倒二节、倒三节与沧州的差不多。在沧州 *Rht8* 基因系的倒四和倒五茎节长度显著长于石家庄, 也显著长于其他基因系, 说明该系在沧州表现为苗期发育较好, 耐盐性强于其他系。*Rht1* (B)在沧州的倒六茎节长于石家庄, 说明石家庄的植株生长前期基部节间生长发育的较短或发育较慢, 可以形成较坚实的茎基部, 可为抗倒打下良好的基础。后期水肥条件较好, 上部节间发育较快, 所以植株较沧州高。

从总体结果来看, 在石家庄各个矮秆基因均比在沧州表现出有利于产量性状的形成和发展。但总的看不同基因在两地对性状影响的大小趋势基本一致。但不同基因影响的程度不同。

3 结论与讨论

Rht8 半矮秆基因对小麦的矮化作用虽然不及其他矮秆、半矮秆基因强, 且穗长显著短于其他, 但由于其生育时期较接近目前推广种的生育时期。因此, 利于籽粒结实率提高, 加之具有显著高的生物产量, 为穗粒重和千粒重的提高奠定了基础。

Rht10 和 *Rht12* 矮秆基因其降秆能力明显高于其他基因, 2年 *Rht10* 和 *Rht12* 的倒二叶宽显著宽于其他3个系。但由于节间缩短太多, 造成地上部生物产量明显降低。使籽粒形成时提供营养的“源”太少, 加之由于成熟较晚受小麦生长后期干热风的影响, 不利于籽粒灌浆和正常成熟。

Rht1 (B)和 *Rht1* (S)两个来源不同的半矮秆基因的降秆作用介于 *Rht8* 和 *Rht10* 或 *Rht12* 之间。旗叶面积和倒二叶面积较大, 穗长亦较大, *Rht1* 半矮秆基

因的降秆作用优于 *Rht8* 基因, 在目前高产抗倒伏育种和以提高叶面积为目的的育种中应用价值很大。

来源于 Bejostaya 的半矮秆基因 *Rht1* (B), 与来源于 Soitama 的半矮秆基因 *Rht1* (S)比较, 其降秆作用、拔节期、抽穗期和开花期、穗长、各节间长度等均较接近, 无本质上的差异, 但 *Rht1* (B)的地上部生物产量显著低于 *Rht1* (S)。

不同生态类型区 *Rht* 矮秆基因对农艺性状的影响程度有所不同。各矮秆基因系在盐碱地的营养生长发育速度均慢于较好条件的石家庄的矮秆系。相比之下 *Rht8* 半矮秆基因的苗期对盐碱的耐性较高, 生长发育速度或基部节间长度发育较快, 在类似于沧州的生态环境的地区利用价值较大。

参考文献:

- [1] Ahmad M, Sorrells. Distribution of microsatellite alleles linked to *Rht8* dwarfing gene in wheat [J]. *Euphytica*, 2002, (123): 235—240.
- [2] Korzun V, Roder M S, Ganal M W, *et al.* Genetic analysis of the dwarfing genes (*Rht8*) in wheat. Part I. Molecular mapping of *Rht8* on the short arm of chromosome 2D of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *TAG*, 1998 (96): 1104—1109.
- [3] 刘秉华, 杨 丽, 丁表珍. 小麦显性矮秆基因 *Rht10* 与着丝点间遗传距离的测定 [J]. *科学通报*, 1993, 38(12): 1128—1130.
- [4] 刘秉华, 杨 丽, 王山蓊. 小麦 4D 染色体上基因 *M2*, *Rht10* 和着丝点的连锁关系图 [J]. *国外农学—麦类作物*, 1995 (5): 36—38.
- [5] Korzun V, Roder M S, Worland A J, *et al.* Intrachromosomal mapping of genes for dwarfing (*Rht12*) and verbalization response (*Vm1*) in wheat by using RFLP and microsatellite markers [J]. *Plant Breeding*, 1997(116): 227—232.
- [6] Sutca J. Chromosomal location of dwarfing gene *Rht12* in wheat [J]. *Euphytica*, 1987, 36(2): 521—523.
- [7] Worland A J, Sayers E J, Bomer A. The genetics and breeding potential of *Rht12* a dominant dwarfing gene in wheat [J]. *Plant Breeding*, 1994, 113(3): 187—196.
- [8] Law C N, Worland A J. An effect of temperature on the fertility of wheat containing the dwarfing genes *Rht1*, *Rht2* and *Rht3* [J]. *Annual Rep Plant Breeding Institute*, 1984(24): 69—71.
- [9] 李杏普, 蒋春志, 刘洪岭. *Rht1*、*Rht2* 和 *Rht8* 基因对春小麦农艺性状的影响 [J]. *河北农技师师范学院学报*, 1995, 9(3): 36—41.
- [10] 李杏普, 庞春明, 武金铭, 等. 不同矮秆基因在小麦育种中的利弊分析 [J]. *华北农学*, 1999, 14(3): 10—14.
- [11] Li Xingpu. Effects of Different *Rht*—B1b, *Rht*—D1b and *Rht*—B1c dwarfing genes on agronomic characteristics in wheat [J]. *Cereal Research Communication*, 2006(34): 2—3.
- [12] Villareal R L, Rajaram S, Toro E. Yield and agronomic traits of Norin 10—derived spring wheat to Northwestern Mexico [J]. *Agronomy and Crop Science*, 1992(168): 289—297.
- [13] 李杏普, 蒋春志. 不同矮秆基因对冬小麦农艺性状的影响 [J]. *作物学报*, 1998, 24(4): 475—479.