

文章编号: 1000-1573(2011)01-0001-05

染色体代换对低磷胁迫下小麦苗期 磷素吸收能力的影响

张立军, 崔喜荣, 郭程瑾, 肖 凯

(河北农业大学 农学院, 河北 保定 071001)

摘要: 以一整套“中国春”背景的单染色体代换系和受体“中国春”、供体“Synthetic 6x”为材料, 研究了水培条件下磷胁迫对小麦苗期磷素吸收和利用能力的变化。结果表明, 低磷条件下, “Synthetic 6x”比中国春在磷胁迫下具有较高的磷吸收能力, 较之供体“Synthetic 6x”和受体“中国春”, 各代换系的单株磷累积能力存在较大差异, 可划分为高效、中效和低效3个效率组, 其中来自供体的A组染色体和3D染色体可能携带有耐低磷能力的主效基因; 染色体6A、3D和2A的耐低磷能力较强。同时, 与受体中国春相比, 6A、3D和2A代换系在低磷条件下, 还具有较高的单株氮累积量和含氮量, 而且代换系6A和3D还具有较高的单株钾累积量和含钾量, 推测6A、3D和2A代换系对多种养分的吸收具有重要的遗传调控作用, 认为以这些代换系可作为小麦养分效率改良的重要种质资源。

关键词: 小麦; 染色体代换; 低磷胁迫; 磷效率; 植株性状; 光和参数

中图分类号: S 143.1

文献标志码: A

Effects of chromosome substitution on phosphorus acquisition capacities in wheat seedling stage under Pi-stressed condition

ZHANG Li-jun, CUI Xi-rong, GUO Cheng-jin, XIAO Kai

(College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: Using a complete set of chromosome substitution lines (CSLs) in "Chinese Spring" (CS) genetic background, "Chinese Spring", and chromosome donor "Synthetic 6x" as the experimental materials, the effects of chromosome substitution on phosphorus acquisition capacities in wheat seedling stage under Pi-stressed condition were analyzed under hydroponically growth condition. Under the Pi-stress condition, the accumulative P amount per plant in "Synthetic 6x" is more significantly increased than in CS. The accumulative P amount per plant among the CSLs, CS, and "Synthetic 6x" varied largely and could be classified into three subgroups, including high-efficiency, mid-efficiency, and low-efficiency. The genome A and chromosome 3D are suggested to carry the major genes controlling the high-efficiency of P use under the low-Pi supply. Among them, chromosome 6A, 3D, and 2A showed much higher genetic effects than other chromosomes. In the meantime, compared with CS, the CSL 6A, 3D, and 2A also had a remarkably increased accumulative N amounts per plant and N contents, and the

① 收稿日期: 2010-11-10

基金项目: 国家自然科学基金(30971773)资助。

作者简介: 张立军(1983-), 男, 河北省廊坊人, 在读硕士生, 研究方向为作物生理及分子生物学。

通讯作者: 肖 凯(1963-), 男, 河北省抚宁人, 博士, 教授, 主要从事作物栽培生理和分子生物学研究。

E-mail: xiaokai@hebau.edu.cn

CSL also showed an obvious increased accumulative K amounts and K contents. These results clearly indicated that above chromosomes of "Synthetic 6x" play key roles on regulation of the acquisition of N, P, and K in wheat. Therefore, above chromosome substitution lines could be used as the recipient on genetic improvement of inorganic nutrient use efficiency in wheat in the future.

Key words: wheat (*Triticum aestivum* L.); chromosome substitution line (CSL); Pi-stress condition; phosphorus acquisition capacity; genetic effects

施用磷肥是实现小麦等作物高产、高效的重要技术措施。但由于施入土壤中的磷肥容易被吸附固定,导致磷肥的利用效率大大降低。因此,提高磷素的利用效率具有重要的实践意义。研究表明,不同植物种属或同一种属不同品种在吸收和利用磷素的能力上存在着明显的遗传差异^[1-3]。尽管目前已有报道对小麦磷素利用效率的鉴定指标、生理和生化机制进行了研究^[4-5],但有关小麦磷素吸收、利用效率的染色体效应研究还少见报道。

小麦染色体代换系是指某一品种(基因型)的个别染色体代换另一个小麦品种(基因型)的相应染色体所产生的品系。小麦代换系不仅是遗传学研究的宝贵资源,而且在小麦品种的定向培育中具有重要价值^[6-9]。多年来,小麦品种中国春一直是世界范围内广泛应用的遗传学材料。为研究小麦各种生物学性状和产量性状的染色体效应,研究人员以中国春作为受体,育成了多套具有不同供体亲本抗逆和优良农艺性状的染色体代换系^[7],如Sears的Hope和Timstein系列代换系、Morris的Cheyenne代换系、Law的Cappelle-Desprez及Synthetic系列代换系,及以其它品种为供体的不完全代换系^[7]。因此,本研究利用一整套“中国春”—Synthetic 6x代换系为材料,研究了低磷胁迫下不同代换系的磷素吸收利用特性变化,旨在阐明小麦低磷胁迫条件下磷效率的染色体调控效应,为小麦耐低磷的磷高效遗传改良提供理论依据和种质资源。

1 材料与方法

1.1 材料和方法

选用以普通小麦“中国春”(*Triticum aestivum* L., $2n=6x=42$, AABBDD)为遗传背景的一整套“Synthetic 6x”二体染色体代换系(1A~7A、1B~7B和1D~7D,共21个)及其亲本为材料。供体“Synthetic 6x”抗逆性突出,与“中国春”存在较大遗传差异^[10]。上述代换系、“中国春”和供体“Synthetic 6x”,均由河北农业大学李存东教授提供。

参照 Zhang 等的方法进行小麦幼苗水培试

验^[11]。其中,其中,除营养液(MS)中除无机磷(Pi)的浓度降至 $30\text{ }\mu\text{mol/L}$ (正常营养液Pi为 3 mmol/L)外,其他无机营养元素的浓度保持不变。培养期间每3 d更换1次营养液。植株生长条件为光周期12 h,温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (白天/黑夜),照光期间的光通量密度为 $300\text{ }\mu\text{E/m}^2\text{ s}^{-1}$ 。所有供试代换系和亲本均为3次重复。当植株生长达到第4叶龄时,选择供试材料的代表性植株,测定植株形态学、磷素和氮钾含量等性状测定。

1.2 性状测定

选择长势一致的植株10株, $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下杀青30 min,再于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘至衡重称重,获得单株干重。以测定植株干物重后的烘干样本为材料,测定低磷处理下各染色体代换系及其亲本的养分含量。其中,采用凯氏定氮法测定含氮量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量,采用火焰光度计法测定含钾量^[11]。通过单株干物重分别与氮含量、磷含量和钾含量的乘积,计算单株氮累积量、单株磷累积量和单株钾累积量。通过单株干物重分别与单株氮累积量、单株磷累积量和单株钾累积量的比值计算氮效率、磷效率和钾效率。

采用SPSS统计学软件和统计学方法,通过将供体、CS及其各代换系单株干物重极差三等分后对各供试代换系及亲本的磷素效率组划分,划分的组别包括高效组、中效组和低效组3个组别。采用Excel进行数据的计算平均值和标准差。

2 结果与分析

2.1 磷胁迫条件下各代换系的干物重、含磷量和磷效率

低磷胁迫下,各染色体代换系、“中国春”和供体“Synthetic 6x”的含磷量、单株干重和磷效率如表1所示。研究表明,植株含磷量也以“Synthetic 6x”最高,较中国春提高113.79%。此外,A组各代换系和3D较中国春的含磷量明显增加。除3D外的其他D组代换系和B组代换系的含磷量与中国春差

异较小。相关分析表明, 单株磷累积量与含磷量呈极显著正相关($r=0.895^{**}$), 与单株干重相关程度较低($r=0.019$), 与磷效率呈不显著负相关($r=-0.669$)。因此, 用供体“Synthetic 6x”对“中国春”各染色体替换后, 植株对低磷胁迫逆境的抵御能力发生明显变化, 表现为磷胁迫下单株的磷素累积能力和含磷量具有同步变化的特征。

表 1 低磷胁迫下各代换系、“中国春”和供体的含磷量、单株干重和磷效率
Table 1 The total P contents, dry weights per plant and P use efficiencies of the chromosome substitution lines CS and the donor under Pi starvation condition

磷效率 类别 Type of P use efficiency	系 Line	含磷量/ P concentration %	单株干重/ Plant dry weight mg	磷效率/ (mg * mg ⁻¹) P use efficiency
高效	Donor	0.62±0.02	45±1.23	72.58
	6A	0.43±0.03	57±2.03	132.56
	3D	0.41±0.02	58±0.78	141.46
	2A	0.44±0.02	55±1.12	125.00
	平均值	0.48	53.75	117.90
中效	3A	0.41±0.03	54±1.05	131.71
	7A	0.42±0.02	49±1.23	116.67
	4A	0.36±0.02	56±0.46	155.56
	5A	0.42±0.02	47±1.22	111.90
	CS	0.29±0.01	64±3.63	220.69
	1A	0.36±0.02	52±1.32	144.44
	2B	0.30±0.02	60±2.22	200.00
	5B	0.34±0.02	53±1.03	155.88
	1D	0.36±0.03	50±0.87	138.89
	1B	0.39±0.01	46±1.12	117.95
低效	平均值	0.37	53.1	149.37
	4B	0.28±0.03	59±1.23	210.71
	7D	0.30±0.01	55±0.32	183.33
	6D	0.31±0.01	55±1.46	177.42
	7B	0.30±0.02	55±2.32	183.33
	5D	0.31±0.02	53±1.23	170.97
	4D	0.29±0.02	53±1.64	182.76
	6B	0.29±0.01	52±0.63	179.31
	2D	0.26±0.02	54±1.22	207.69
	3B	0.31±0.02	43	181.58

低磷胁迫条件下, 受体“中国春”、供体“Synthetic 6x”(Donor)和各染色体代换系的单株磷素累积能力存在较大差异, 可划分为高效、中效和低效 3 个效率组。与“中国春”相比, “Synthetic 6x”在磷胁迫下的吸磷能力明显增强, 后者的单株磷累积量较前者提高 47.37%。用“Synthetic 6x”的 A、B 和 D 组各染色体替换“中国春”相应染色体后, 单株的磷素吸收能力存在明显差异。其中, 2A~7A 的单株磷累积量均高于“中国春”, 1A 的单株磷累积量与

“中国春”相同。除 3D 的单株磷累积量较“中国春”明显增加外, 其他 D 组染色体代换系和全部 B 组代换系的单株磷累积量均低于“中国春”。因此, 供体“Synthetic 6x”的 A 组染色体和 3D 染色体可能携带有增强耐低磷能力的主效基因, 其中以 6A、3D 和 2A 具有较强的遗传调控效应。

2.2 磷胁迫条件下各代换系的单株氮累积量、含氮量和氮效率

低磷胁迫条件下, 各供试代换系、“中国春”和“Synthetic 6x”的单株氮累积量、含氮量和氮效率如表 2 所示。与“中国春”相比, “Synthetic 6x”也具有明显增多的单株氮累积量和较高的含氮量。其中, 后者的单株氮累积量和含氮量分别增加 21.90%和 73.36%。对染色体替换后的代换系上述参数比较发现, 位于磷高效组的 6A、3D 和 2A 不仅在低磷胁迫下的较强磷素吸收能力, 而且在低磷下还具有较多的氮素累积量和含氮量。因此, “Synthetic 6x”的上述染色体也携带氮高效利用基因。

表 2 低磷胁迫下各代换系、“中国春”和供体的单株氮累积量、含氮量和氮效率
Table 2 The accumulative N amounts per plant, plant N contents and N use efficiencies of the chromosome substitution lines CS and the donor under Pi starvation condition

磷效率 类别 Type of P use efficiency	系 Line	单株氮 累积量/ mg Accumulative N	含氮量/ N concentration %	氮效率/ (mg * mg ⁻¹) N use efficiency
高效	Donor	1.67	3.71±0.12	26.99
	6A	1.72	3.01±0.22	33.22
	3D	1.62	2.79±0.11	35.84
	2A	1.60	2.92±0.23	34.31
	平均值	1.65	3.11	32.59
中效	3A	1.41	2.61±0.22	38.31
	7A	1.35	2.76±0.12	36.3
	4A	1.37	2.45±0.16	40.82
	5A	1.33	2.84±0.21	35.27
	CS	1.37	2.14±0.03	46.84
	1A	1.23	2.37±0.13	42.19
	2B	1.21	2.02±0.10	49.5
	5B	1.42	2.69±0.12	37.24
	1D	1.34	2.68±0.12	37.31
	1B	1.24	2.69±0.14	37.24
低效	平均值	1.33	2.53	40.10
	4B	1.51	2.56±0.23	39.14
	7D	1.26	2.29±0.13	43.72
	6D	1.4	2.55±0.21	39.22
	7B	1.43	2.61±0.12	38.39
	5D	1.39	2.62±0.09	38.24
	4D	1.38	2.60±0.12	38.46
	6B	1.32	2.53±0.22	39.53
	2D	1.29	2.39±0.18	41.84
	3B	1.12	2.61±0.12	38.39
	平均值	1.34	2.53	39.66

2.3 磷胁迫条件下各代换系的单株钾累积量、含钾量和钾效率

低磷胁迫条件下, 供试各代换系、“中国春”和“Synthetic 6x”的单株钾累积量、含钾量和钾效率如表 3 所示。与“中国春”相比, “Synthetic 6x”的含钾量较中国春也明显增加, 增加幅度为 33.33%。但“Synthetic 6x”的单株钾累积量略低于“中国春”, 这是由于其钾效率低和低磷条件下的单株干重低所致。总体来看, 低磷条件下高效组较中、低效率组具有相对较高的单株钾累积量、含钾量和相对较低的钾效率。研究发现, 代换系 6A 和 3D 较“中国春”具有较高的单株钾累积量和含钾量, 且上述染色体代换系也具有较高的磷、氮含量和单株累积量, 表明上述染色体对小麦多种养分的吸收能力具有重要的遗传学调控效应。

表 3 低磷胁迫下各代换系、中国春和供体的单株钾累积量、含钾量和钾效率
Table 3 The accumulative K amounts per plant plant K contents and K use efficiencies of the chromosome substitution lines CS and the donor under Pi starvation condition

磷效率类别 Type of P use efficiency	系 Line	单株钾累积量/ mg Accumulative K	含钾量/ % K concentration	钾效率/ (mg·mg ⁻¹) K use efficiency
高效	Donor	1.73	3.84±0.12	26.08
	6A	1.97	3.45±0.08	28.99
	3D	1.89	3.25±0.21	30.77
	2A	1.78	3.24±0.07	30.86
	平均值	1.84	3.45	29.18
中效	3A	1.79	3.32±0.12	30.12
	7A	1.75	3.57±0.21	28.01
	4A	1.73	3.09±0.18	32.36
	5A	1.62	3.45±0.21	28.99
	CS	1.84	2.88±0.12	34.78
	1A	1.53	2.94±0.14	34.01
	2B	1.78	2.96±0.22	33.78
	5B	1.6	3.01±0.13	33.22
	1D	1.5	2.99±0.15	33.44
	1B	1.55	3.37±0.21	29.67
	平均值	1.67	3.16	31.84
低效	4B	1.67	2.83±0.12	35.34
	7D	1.71	3.10±0.08	32.26
	6D	1.62	2.94±0.18	34.01
	7B	1.61	2.92±0.06	34.25
	5D	1.55	2.93±0.13	34.13
	4D	1.65	3.12±0.16	32.05
	6B	1.52	2.92±0.17	34.25
	2D	1.57	2.91±0.21	34.36
	3B	1.36	3.17±0.20	31.55
	平均值	1.58	2.98	33.58

3 讨论与结论

整套 A、B 和 D 组染色体代换系具有除被代换

染色体外一致的遗传背景, 在重要农艺性状、生理性状和生化性状的基因定位和染色体效应研究中, 能有效减少或消除利用品种为材料开展相关研究中存在的背景染色体差异的影响, 也是小麦产量、品质和抗逆性改良的优良种质^[12-14]。

迄今, 有关小麦重要生物学性状的染色体效应研究已有较多报道^[15-17]。Morgan 等将渗透调节基因定位在染色体 7A^[15]。在国内, 杨凯以中国春—Hope 代换系和中国春—长穗偃麦草代换系为材料, 通过对干旱胁迫和对照条件下的叶片脯氨酸含量测定, 证明了 5A 和 5D 染色体上含有调控干旱诱导脯氨酸合成的基因, 6B 染色体上含有干旱胁迫下抑制脯氨酸积累的基因。白志英等对“中国春—Synthetic 6x”代换系的研究发现, “Synthetic 6x”的 5D 染色体上含有促进干旱胁迫下脯氨酸合成的基因, 而 4A、4B、2D 和 6D 染色体上含有抑制干旱胁迫下蛋白质含量降低的基因^[16]。近年来, 以小麦代换系为材料, 国内外学者对小麦细胞保护酶活性的遗传学效应进行了研究。张娟等利用“中国春—埃及红”代换系为材料的研究发现, 逆境诱导过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性增强的基因位于 7D、6D 和 2B 染色体^[17]。利用中国春背景, “Synthetic 6x”为染色体供体的染色体代换系为材料研究发现, 5D 携带促进干旱胁迫条件下促进脯氨酸合成的主效基因, 4A 和 4B 含有促进渗透胁迫条件下蛋白质合成的主效基因^[19]。

本研究以一整套用抗逆性强、“中国春”遗传亲缘性远的“Synthetic 6x”作为 A、B 和 D 染色体供体构建的染色体代换系为材料, 研究了小麦染色体组各条染色体(1A~7A, 1B~7B 和 1D~7D)代换后小麦植株对低磷胁迫抵御能力的变化。研究表明, 染色体供体“Synthetic 6x”在低磷胁迫条件下较中国春具有明显增强的磷素吸收能力, 表现出较对照具有明显提高的单株含磷量和单株磷素累积量。在各染色体中, 以 A 组 2A~7A 和 D 组 3D 在增强植株抵御低磷胁迫的能力中作用最大。表明上述染色体是供体在低磷胁迫条件下表现较高含磷量和单株磷累积量的重要遗传学基础。本研究发现, 有各条特定的供体染色体替换“中国春”相应地染色体后, 植株在形态学特征上均与“中国春”相近, 因此, 在低磷胁迫条件下具有明显增强的耐低磷高效组代换系 6A、3D 和 2A, 可作为培育磷高效小麦种质和品种的优良亲本资源。

本研究发现, 在低磷胁迫条件下, 具有耐低磷

迫的磷高效组代换系 6A、3D 和 2A, 同时也具有较强的氮素积累能力, 表现出较多的单株氮累积量和含氮量; 此外, 也表现出较高的单株含钾量。这表明, 供体“Synthetic 6x”中的 6A、3D 和 2A 染色体在调控小麦的耐低磷能力及氮、钾利用效率上存在着紧密的遗传连锁。用“Synthetic 6x”上述染色体构建的“中国春”遗传背景的染色体代换系, 同时具有着改善植株对氮、磷和钾等多种养分的利用效率的作用。以上述代换系作为选育亲本, 具有同时改善植株氮、磷和钾多种养分利用效率的潜力。

尽管“Synthetic 6x”具有优良的抗逆性能^[9], 但是, 该品系的光温反应敏感, 对低温和长日的要求极为严格。在华北平原区秋播条件条件下, 拔节、开花期和成熟期分别较“中国春”延迟 5~7 d, 较当地推广的小麦品种分别推迟 10~15 d。以此, 直接以具有养分高效特征的代换系 6A、3D 和 2A 为养分高效育种中的亲本材料, 从中选育生育进程和生育期适当的优良品难度较大。因此, 以具有生育期和生育进程适当、产量潜力高的小麦品种作为染色体受体, 构建以“Synthetic 6x”的 6A、3D 和 2A 作为染色体供体的代换系, 以此作为为亲本资源, 在推动小麦养分效率的遗传改良中可能具有重要的应用前景。

参考文献:

- [1] 李玉京, 刘建中, 李滨, 等. 不同生产时期小麦品种有效利用土壤潜在磷特性的鉴定[J]. 作物学报, 1995, 25(5): 560-564.
- [2] 刘建中, 李滨, 李玉京, 等. 普通小麦各染色体组有效利用土壤磷基因的遗传分析[J]. 西北植物报, 1999, 19(1): 1-6.
- [3] 李玉京, 刘建中, 李滨, 等. 普通小麦基因组中耐低磷胁迫特性的染色体控制[J]. 遗传学报, 1999, 26(5): 529-538.
- [4] 郭丽, 龙素霞, 赵芳华, 等. 小麦不同品种磷效率比较和评价的生化指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(4): 506-510.
- [5] 李宾兴, 肖凯, 李雁鸣. 低磷胁迫条件下小麦光合特性的基因型差异[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(1):

5-9.

- [6] Morgan J M. A gene controlling differences in osmoregulation in wheat[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1992, 18: 249-257.
- [7] Clua A A, Castro A M, Gimenez D O. Chromosomal effects in the endogenous contents of non-structural carbohydrates and proteins measured in wheat substitution lines[J]. Plant Breeding, 2002, 121: 141-145.
- [8] 刘秉华. 小麦染色体代换的研究与利用[J]. 生物学通报, 1998, 33(4): 26-27.
- [9] Law C N, 王君. 小麦品种间染色体代换系的研究[J]. 麦类作物, 1997, 17(2): 20-24.
- [10] 贾继增, 张正斌, Devos K, 等. 小麦 21 条染色体 RELP 作图位点遗传多样性分析[J]. 中国科学: C 辑, 2001, 31(1): 13-21.
- [11] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994, 5.
- [12] Galiba G, Simon-Sarkadi L, Kocsy G. Possible chromosomal location of genes determining the osmoregulation of wheat[J]. Theor Appl Genet, 1992, 85: 415-418.
- [13] Galiba G, Gabor Kocsy, Ravindar Kaur-Sawhne. Chromosomal localization of osmotic and salt stress-induced differential alterations in polyamine content in wheat[J]. Plant Sci, 1993, 92: 203-211.
- [14] Ashton J, Delauney D, Verma S. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants[J]. Plant J, 1993, 4(2): 215-223.
- [15] Morgan J M. A gene controlling differences in osmoregulation in wheat[J]. Aust J Plant Physiol, 1992, 18: 249-257.
- [16] 白志英, 李存东, 冯丽肖, 等. 小麦中国春—Synthetic 6x 代换系穗花分化与耐旱基因的染色体定位[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2136-2144.
- [17] 张娟, 张正斌, 谢惠民, 等. 小麦叶片水分利用效率及相关生理性状基因的染色体定位[J]. 西北植物学报, 2005, 25(8): 1521-1527.

(编辑: 梁虹)