

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2008)02-0081-04

马铃薯主要块茎性状杂种优势及配合力分析

张 荣¹, 王一航^{1*}, 文国宏¹, 李高峰²

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 对马铃薯 9 个亲本及其不完全双列杂交组合的 18 个杂种无性一代的 8 个性状进行了杂种优势和配合力分析。结果表明: 8 个性状均具有一定程度的杂种优势, 超中亲优势的大小顺序为: 烂薯率>块茎产量>结薯数>淀粉含量>单个块茎重>薯形>块茎外观>结薯习性; 超高亲优势的排列顺序则为: 结薯数>单个块茎重>块茎产量>块茎外观>烂薯率>淀粉含量>薯形>结薯习性。品种 P₁ (L0031-17)、P₂ (陇薯 3 号)、P₃ (L0218-38)、P₄ (95D-P-8) 具有较好的一般配合力, 是理想的亲本材料。组合 P₁×P₄、P₂×P₃ 在淀粉含量、块茎产量等性状上具有较高的特殊配合力, 产生较强的杂种优势。在马铃薯高淀粉育种中应选择高淀粉材料作为亲本之一, 选配组合时亲本最好采用高×高类型或高×低类型配置组合。

关键词: 马铃薯; 杂种优势; 配合力

就传统的作物育种方式来说, 能否获得理想的后代, 其亲本的选配是极其重要的^[1]。马铃薯杂交育种中, 亲本本身的表现与其杂交后代的表现并不一致, 有些亲本本身表现并不特别优良, 但能从它们的杂交后代分离出很优良的个体或组合。因此加强杂种优势预测, 正确、合理选配亲本在提高杂交马铃薯育种水平中显得尤为关键。配合力是杂交亲本间各性状配合能力的指标, 是选择亲本的重要依据之一。配合力分析被广泛地应用于许多作物的杂交育种或杂种优势利用分析中。本试验研究了马铃薯结薯习性、薯形、块茎外观、结薯数、单个块茎重、烂薯率、淀粉含量、块茎产量共 8 个性状的杂种优势和配合力, 以期在稳定或提高马铃薯产量的基础上培育具有高淀粉含量马铃薯品种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选用 9 个品种作为亲本, 即 L0206-6 (P₁)、L0031-17 (P₂)、LK99 (P₃)、陇薯 3 号 (P₄)、

收稿日期: 2007-12-19

基金项目: 甘肃省科技厅省属科研院所创新团队建设项目。项目编号[2006-49]。

作者简介: 张荣 (1982-), 男, 在读硕士, 从事马铃薯遗传育种研究。

* 通讯作者: E-mail: gsmis@126.com

S98-802 (P₅)、大西洋 (P₆)、L0218-38 (P₇)、夏波蒂 (P₈)、95D-P-8 (P₉)。采用 3×6 不完全双列杂交试验设计, 配制 18 个组合, 连同 9 个亲本, 共 27 个处理。于 2007 年在定西市会川马铃薯良种繁育基地试验田种植。试验采用随机区组设计, 3 行区, 行长 4.7 m, 行距 0.6 m, 株距 0.33 m, 3 次重复。收获时按小区逐株考种, 考察项目包括: 结薯习性、薯形、块茎外观、结薯数、单个块茎重、烂薯率、淀粉含量和块茎产量共 8 个性状。

1.2 试验方法

薯形 T9 分 4 级: 1 = 长形, 2 = 长椭圆形, 3 = 椭圆形, 4 = 圆形; 收获时按小区逐株调查后计算薯形值 [薯形值 = (各级薯形株数 × 级数) / (调查小区总株数 × 4)]; 结薯习性分 4 级: 1 = 集中, 2 = 半集中, 3 = 较分散, 4 = 分散 [结薯习性值 = (各级结薯习性株数 × 级数) / (调查小区总株数 × 4)]; 块茎外观分为 9 级; 淀粉含量: g·kg⁻¹, 按小区每株收获一个中等大小块茎, 收获后 7 d 内测定比重, 查 Mepker 氏表获得淀粉含量。

各组合各性状的超中亲优势: [HH (%) = (F1-MP) / MP × 100], 超高亲优势: [HM (%) = (F1-HP) / HP × 100] 及各性状的平均优势。采用 Griffing 不完全双列杂交设计配合力分析统计方法^[2-3], 进行配合力分析和遗传参数估算。

2 结果与分析

2.1 杂种优势分析

2.1.1 各性状优势表现

18 个组合各性状的平均杂种优势及变异幅度见表 1。可以看出, 8 个性状均有一些组合表现出一定程度的杂种优势, 有一些组合表现出杂种劣

势。超中亲优势值最高可达 44.98%, 超高亲优势值最高可达 44.54% (烂薯率)。只是由于其变异幅度较大, 每个性状均有负值出现, 所以对其遗传特性难下定论, 如淀粉含量, 虽然其超中亲优势平均值为 -1.26, 但其超中亲优势值的变异范围在 -11.89% ~ -10.38%, 超高亲优势值的变异范围在 -27.56% ~ -9.05%。其它性状与此雷同。

表 1 18 个组合 (无性一代) 8 个性状的平均杂种优势和变异幅度

| 杂种优势 | 结薯习性 | 薯形 | 块茎外观 | 结薯数 | 单个块茎重 | 烂薯率 | 淀粉含量 | 块茎产量 |
|----------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 超中亲优势平均值 | -3.60 | -2.25 | -2.77 | 0.95 | -2.20 | 6.08 | -1.26 | 2.15 |
| 变幅(HM,%) | -38.46~16.87 | -36.84~33.33 | -26.50~37.61 | -17.61~20.7 | -16.06~19.41 | -34.31~44.98 | -11.89~10.38 | -16.93~21.71 |
| CV(%) | -1.40 | -9.92 | -6.09 | 13.04 | 5.22 | 4.58 | -6.10 | 4.83 |
| 超高亲优势平均值 | -15.93 | -9.80 | -5.36 | -1.74 | -1.97 | -9.34 | -9.67 | -4.25 |
| 变幅(HH,%) | -39.53~15.45 | -43.75~21.74 | -30.08~30.89 | -19.3~19.30 | -21.07~19.30 | -44.54~19.22 | -27.56~9.05 | -27.23~14.87 |
| CV(%) | -1.16 | -2.19 | -2.99 | -7.31 | -6.03 | -2.83 | -1.30 | -2.57 |

2.1.2 各组合超高亲优势表现

各组合高亲性状见表 2。18 个组合中有 17 个组合在 1 个或多个性状上表现为超高亲优势。其中, 块茎产量有 6 个组合产生超亲优势。这些组合不仅块茎产量超高亲, 而且多个性状超高亲。如组合 P₂ × P₉ (L0031-17 × 95D-P-8), 除块茎产量外, 淀粉含量与单个块茎重均超高亲, 尤其是淀粉含量超高亲优势达到 6.16%。说明在获得较高块茎产

量的同时, 亦可以提高块茎的淀粉含量, 配制杂交组合, 除考虑产量性状本身外, 其品质性状也不应忽视。

从上述超高亲组合的亲本来看, P₄ (L0031-17)、P₅ (L0218-38) 和 P₆ (95D-P-8) 表现较好, P₂ 尤为突出。

2.2 各性状配合力方差分析

18 个杂交组合的主要块茎性状的方差分析和配合力方差分析结果列于表 3。方差分析表明, 8 个主要块茎性状组合间差异均极显著, 说明参试组合存在真实的遗传差异。以组合平均值为单位, 各性状配合力方差分析结果表明, 所研究的父母本 8 个块茎性状一般配合力方差、特殊配合力方差均达到极显著水平, 说明这些性状均受加性和非加性效应的影响。

表 2 杂交组合主要块茎性状的高亲优势

| 组合 | 结薯习性 | 薯形 | 块茎外观 | 结薯数 | 单个块茎重 | 烂薯率 | 淀粉含量 | 块茎产量 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P ₁ × P ₄ | 12.20 | 20.99 | 30.89 | 19.30 | -21.07 | -21.34 | -5.48 | -3.53 |
| P ₁ × P ₅ | 15.45 | 21.43 | 24.39 | 17.39 | -14.62 | -17.52 | -8.59 | 0.18 |
| P ₁ × P ₆ | -15.45 | -20.83 | -2.38 | -12.10 | 1.23 | -44.54 | -25.19 | -10.96 |
| P ₁ × P ₇ | -16.28 | -18.39 | -10.57 | -9.00 | 3.54 | -25.47 | -24.15 | -3.38 |
| P ₁ × P ₈ | -34.96 | 21.74 | -3.10 | -3.39 | -12.68 | -40.68 | -25.93 | -15.68 |
| P ₁ × P ₉ | -33.33 | -8.60 | -2.38 | -1.34 | -12.98 | -38.43 | -27.56 | -14.25 |
| P ₂ × P ₄ | -2.33 | 1.23 | 1.71 | 13.40 | -15.80 | 11.70 | -19.22 | -4.44 |
| P ₂ × P ₅ | -3.88 | 1.19 | 6.84 | 11.78 | -9.41 | 20.60 | -13.85 | 1.22 |
| P ₂ × P ₆ | -20.93 | -27.08 | -11.90 | -7.23 | -2.77 | -32.61 | 3.18 | -9.87 |
| P ₂ × P ₇ | -17.83 | -21.84 | -6.84 | 1.50 | 4.67 | -9.47 | 1.41 | 6.20 |
| P ₂ × P ₈ | -13.18 | 13.33 | -3.10 | -7.72 | -6.01 | -39.89 | 4.03 | -13.28 |
| P ₂ × P ₉ | -11.63 | -11.83 | -3.17 | -1.78 | 8.37 | -30.40 | 6.16 | 6.34 |
| P ₃ × P ₄ | -38.33 | -32.10 | -30.08 | -18.15 | -11.07 | 6.53 | -21.71 | -27.23 |
| P ₃ × P ₅ | -36.67 | -36.90 | -26.83 | -19.30 | 6.18 | 19.22 | -14.53 | -14.36 |
| P ₃ × P ₆ | -40.00 | -43.75 | -26.98 | -11.56 | 12.62 | 7.53 | -4.39 | -0.44 |
| P ₃ × P ₇ | -39.53 | -36.78 | -22.76 | -2.30 | 16.98 | 13.86 | -13.13 | 14.30 |
| P ₃ × P ₈ | 8.33 | 9.33 | -8.53 | -17.99 | 19.30 | 44.53 | 9.05 | -2.15 |
| P ₃ × P ₉ | 1.59 | -7.53 | -1.59 | 17.15 | -1.88 | 8.30 | 5.75 | 14.87 |

表 3 8 个性状的配合力方差分析

| 变异来源 | 结薯习性 | 薯形 | 块茎外观 | 结薯数 | 单个块茎重 | 烂薯率 | 淀粉含量 | 块茎产量 |
|-------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| 组合间 | 12.53** | 89.84** | 81.24** | 80.53** | 9.43** | 176.51** | 62.21** | 14.89** |
| 母本 | 16.81** | 306.30** | 319.95** | 222.14** | 21.17** | 78.17** | 213.98** | 34.76** |
| 父本 | 5.09** | 90.50** | 44.00** | 77.41** | 13.34** | 101.36** | 84.03** | 18.61** |
| 母 × 父 | 15.40** | 46.23** | 52.11** | 53.96** | 5.12** | 38.01** | 20.94** | 9.06** |
| 重复间 | 1.62 | 1.04 | 2.77 | 1.42 | 0.91 | 0.85 | 1.59 | 0.24 |

注: ** 表示在 1% 水平差异显著。

2.3 一般配合力效应分析

在亲本选配中, 一般配合力 (GCA) 是对加性效应的度量。由于加性效应易被较稳定地遗传, 是可以通过亲本预测子代表现的部分, 所以研究诸性状的 GCA 大小在选配亲本中具有重要意义。

9 个亲本主要块茎性状的一般配合力效应值列于表 4。可以看出, 同一性状不同亲本的一般配合力效应值不同。就淀粉含量而言, 各亲本一般配合力效应值的大小顺序为: P_4 (陇薯 3 号) $> P_1$ (L0206-6) $> P_6$ (S98-802) $> P_7$ (L0031-17) $> P_8$ (95D-P-8) $> P_5$ (夏波蒂) $> P_3$ (L0218-38) $> P_9$ (大西洋) $> P_2$ (LK99); 而对于块茎产量来说, 一般配合力效应值的大小顺序则为: P_7 (L0218-38) $> P_8$ (L0031-17) $> P_4$ (陇薯 3 号) $> P_9$ (95D-P-8) $> P_6$ (S98-802) $> P_1$ (L0206-6) $> P_3$ (大西洋) $> P_5$ (LK99) $> P_2$ (夏波蒂)。

表 4 亲本 8 个性状一般配合力效应

| 亲本 | 结薯习性 | 薯形 | 块茎外观 | 结薯数 | 单个块茎重 | 烂薯率 | 淀粉含量 | 块茎产量 |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|
| P_1 | 0.19 | 0.97 | 1.52 | 1.09 | -18.96 | -0.75 | 4.06 | -11.81 |
| P_2 | 0.43 | 0.24 | 0.12 | 0.69 | 7.81 | -0.69 | 0.24 | 114.43 |
| P_3 | -0.62 | -1.21 | -1.64 | -1.78 | 11.15 | 1.44 | -3.81 | -102.62 |
| P_4 | 0.36 | 0.21 | 0.47 | 1.37 | -11.75 | -0.66 | 5.17 | 53.77 |
| P_5 | 0.43 | 0.37 | 0.54 | 1.08 | -17.17 | 0.38 | 3.74 | -5.82 |
| P_6 | -0.64 | -0.96 | -0.86 | -1.58 | 6.46 | 0.31 | -2.73 | -101.64 |
| P_7 | -0.41 | -1.16 | -1.26 | -0.35 | 34.14 | -0.10 | -2.16 | 163.87 |
| P_8 | 0.94 | 0.74 | 0.54 | -1.41 | -3.66 | 0.04 | -2.03 | -148.45 |
| P_9 | 0.16 | 0.81 | 0.57 | 0.88 | -8.01 | -0.57 | -1.99 | 38.27 |

同样, 同一亲本不同性状的一般配合力效应值也不同。以亲本 P_7 (L0031-17) 为例, 一般配合力效应值的大小顺序为: 块茎产量 $>$ 单个块茎重 $>$ 结薯数 $>$ 结薯习性 $>$ 薯形 $>$ 块茎外观 $>$ 淀粉含量 $>$ 烂薯率。这就是说, 以 L0031-17 作亲本, 其块茎产量、单个块茎重、结薯数和结薯习性的一般配合力要比淀粉含量、烂薯率好得多。

结合上述超高亲优势分析不难看出, 亲本 P_2 (L0031-17)、 P_4 (陇薯 3 号)、 P_7 (L0218-38)、 P_9 (95D-P-8) 具有较好的一般配合力效应。

2.4 特殊配合力效应分析

特殊配合力 (SCA) 主要是基因的非加性效应作用的结果, 是杂种优势的遗传基础。这一效应一般只在杂交后才表现出来, 较难在上下代之间稳定遗传,

但在优良组合选配上具有特殊意义^[4]。

表 5 各组合 8 个性状的特殊配合力效应值

| 组合 | 结薯习性 | 薯形 | 块茎外观 | 结薯数 | 单个块茎重 | 烂薯率 | 淀粉含量 | 块茎产量 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|
| $P_1 \times P_4$ | 1.07 | 0.99 | 2.38 | 1.69 | 3.02 | -0.20 | 4.28 | 157.96 |
| $P_1 \times P_5$ | 1.21 | 1.23 | 1.51 | 1.64 | -3.32 | -0.25 | 3.61 | 107.97 |
| $P_1 \times P_6$ | 0.37 | -0.04 | -0.09 | -0.85 | 16.76 | -0.19 | -1.12 | 24.93 |
| $P_1 \times P_7$ | 0.34 | -0.32 | -0.99 | -1.54 | 2.95 | -0.05 | -0.99 | -118.98 |
| $P_1 \times P_8$ | -1.56 | -0.94 | -1.29 | 0.50 | -11.47 | 0.01 | -2.32 | -4.06 |
| $P_1 \times P_9$ | -1.43 | -0.91 | -1.52 | -1.43 | -7.95 | 0.69 | -3.46 | -167.81 |
| $P_2 \times P_4$ | 0.24 | 0.13 | -0.42 | 0.64 | -7.25 | 0.80 | -3.12 | 15.49 |
| $P_2 \times P_5$ | 0.07 | 0.26 | 0.11 | 0.65 | -3.28 | 0.84 | -3.39 | 43.13 |
| $P_2 \times P_6$ | 0.04 | 0.09 | 0.11 | 0.06 | -7.70 | 0.27 | 1.28 | -44.05 |
| $P_2 \times P_7$ | 0.01 | 0.09 | 0.31 | 0.32 | -13.83 | 0.36 | 2.31 | -44.39 |
| $P_2 \times P_8$ | -0.19 | -0.11 | 0.11 | -0.2 | -6.95 | -1.23 | 0.98 | -53.66 |
| $P_2 \times P_9$ | -0.16 | -0.47 | -0.22 | -1.47 | 39.01 | -1.05 | 1.94 | 83.48 |
| $P_3 \times P_4$ | -1.31 | -1.12 | -1.96 | -2.32 | 4.23 | -0.60 | -1.16 | -173.45 |
| $P_3 \times P_5$ | -1.28 | -1.49 | -1.62 | -2.29 | 6.59 | -0.59 | -0.22 | -151.10 |
| $P_3 \times P_6$ | -0.41 | -0.06 | -0.22 | 0.78 | -9.06 | -0.08 | -0.16 | 19.12 |
| $P_3 \times P_7$ | -0.34 | 0.24 | 0.68 | 1.22 | 10.88 | -0.31 | -1.32 | 163.37 |
| $P_3 \times P_8$ | 1.76 | 1.04 | 1.18 | -0.30 | 18.42 | 1.23 | 1.34 | 57.72 |
| $P_3 \times P_9$ | 1.61 | 1.13 | 0.96 | 2.71 | -26.37 | 1.49 | 0.43 | 83.35 |

表 5 列出了 18 个组合各性状 SCA 效应值。可以看出, 它们差异很大, 其中淀粉含量、块茎产量的变幅分别为 -3.46 ~ 4.28、-173.45 ~ 163.37。供试亲本块茎产量所代表的种质变异较宽, 试验结果具有一定的代表性。

组合 $P_1 \times P_4$ 、 $P_2 \times P_9$ 淀粉含量、块茎产量性状的特殊配合力均较好。说明特殊配合力高的组合中, 至少有一个亲本的一般配合力要高。然而, 一般配合力最高的亲本, 特殊配合力并不一定最高。譬如块茎产量的一般配合力, 以亲本 P_2 和 P_7 最好, 但 $P_2 \times P_7$ 组合却较差, 特殊配合力效应值为负值 -44.39。

由此可见, 在配制杂交组合时, 虽然应选用一般配合力较好的材料作亲本, 但还应具体考虑亲本的特殊配合力效应。

3 讨论

3.1 主要块茎性状的遗传规律

本研究中各性状超中亲优势的排列顺序为: 烂薯率 $>$ 块茎产量 $>$ 结薯数 $>$ 淀粉含量 $>$ 单个块茎重 $>$ 薯形 $>$ 块茎外观 $>$ 结薯习性; 而超高亲优势的排列顺序

则为: 结薯数>单个块茎重>块茎产量>块茎外观>烂薯率>淀粉含量>薯形>结薯习性。各性状一般配合力方差和特殊配合力方差均达到极显著水平, 说明这些性状的遗传是由加性和非加性基因共同控制的。马铃薯育种应该在注重产量的基础上提升品质, 适应市场的发展, 提高马铃薯生产的综合效益, 从而实现我省马铃薯高产、优质的选育目标。

3.2 一般配合力和特殊配合力的关系

同一亲本不同性状的一般配合力不同, 反之亦然。一般配合力与特殊配合力之间没有明显的对应关系, 由 2 个一般配合力高的亲本所组配的组合, 其特殊配合力不一定高。但特殊配合力好的组合中, 至少有一个亲本的一般配合力较好。因此, 在选择杂交组合时, 在选择一般配合力较高的亲本基础上, 还应具体考虑亲本间的特殊配合力效应。这一结果与其它作物配合力研究结论一致^[5-6]。

3.3 亲本利用价值的评价

在马铃薯高淀粉的育种选择过程中, 要想获得理想的基因组合, 一是采用双亲淀粉含量均高或均低的组合, 这样的组合出现正向或负向超亲的机会较少, 但高含量或低含量淀粉的个体较多。另一途径可通过超亲来达到理想目的, 超亲率高的组合虽然双亲并不十分优良(淀粉含量), 但大量的超亲现

象可以称补双亲的不足, 使后代拥有较多的优良个体; 而那些中亲值不高, 正向或负向超亲少的组合, 育种选择的机率较小。

P₄ L0031-17)、P₄ 陇薯 3 号) 的淀粉含量、块茎产量等有利性状的一般配合力较大, 而烂薯率的一般配合力较低; P₄ L0218-38)、P₄ 95D-P-8) 的块茎产量一般配合力较高, 烂薯率的一般配合力居中等水平, 淀粉含量的一般配合力低。这 4 个亲本在生产上有较大的应用潜力, 是理想的亲本材料。

[参 考 文 献]

- [1] 孙慧生. 马铃薯育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] 马育华. 植物育种的量遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1982.
- [3] 郭平仲. 数量遗传分析[M]. 北京: 首都师范大学出版社, 1993.
- [4] 梁慧珍, 李卫东, 方宣钧, 等. 大豆异黄酮及其组分含量的配合力和杂种优势[J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2 147-2 152.
- [5] 库丽霞, 陈彦惠, 吴连成, 等. 玉米秸秆热值性状杂种优势及配合力分析[J]. 作物学报, 2006, 32 (2): 228-231.
- [6] Gopal J. Genetic analysis of within family variation in true seed crop of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*[J]. 2001, 61(2): 147-150.

Analysis of Heterosis and Combining Ability for Tuber Traits in Potato

Zhang Rong¹, Wang Yihang¹, Wen Guohong¹, Li Gaofeng²

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Potato Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Heterosis and combining ability were analyzed for 8 tuber traits of 9 parents and 18 crosses derived from 3 × 6 incomplete diallel cross in first clonal generation. The 8 traits tested showed heterosis to some extent. The rank of heterosis over mid-parent value was rotten tuber rate> tuber yield> tuber number> starch content> tuber weight> tuber shape> tuber appearance> stolon length, while the rank over high-parent value was tuber number> tuber weight> tuber yield> tuber appearance> rotten tuber rate> starch content> tuber shape> stolon length. The parents, L0031-17, Longshu 3, L0218-38 and 95D-P-8, had higher general combining ability, indicating that they are good parents in future breeding effort. The crosses, L0206-6 × Longshu 3 and L0031 × 95D-P-8, performed better in such traits as starch content and tuber yield for specific combining ability. It is suggested that at least one high starch parent should be used in breeding for high starch content, i.e. high × high or high × low crosses.

Key Words: *Solanum tuberosum* L.; heterosis; combining ability