

甘蓝型油菜硫苷组分的双标图分析^①

张 敏, 王耐红, 李施蒙,
吴国超, 徐新福, 王 瑞

西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400716

摘要: 采用 GGE 双标图法, 对 11 份硫苷组分不同甘蓝型油菜进行 4×7 不完全双列杂交试验, 旨在对各杂交组合的硫苷组分进行分析, 从而筛选出其配合力较低的亲本组合来满足降低后代硫苷质量摩尔浓度的要求. 结果显示: ① 对于 2-羟-3-丁烯基而言, 亲本一般配合力(GCA)较低的是父本 D21R, D1R 和母本 D3AB, 特殊配合力(SCA)较低的是父本 91R, 56R 和母本 D3AB, SCA 较低的组合有 $S3 \times R3$, $S3 \times R7$ 和 $S1 \times R3$ 等; ② 对于 3-丁烯基而言, 亲本 GCA 较低的是父本 15R, 91R 和母本 Gd1AB, D3AB, SCA 较低的是父本 D1R, D21R 和母本 D3AB, SCA 较低的组合有 $S3 \times R3$, $S3 \times R7$ 和 $S1 \times R7$ 等; ③ 对父本 GCA 而言, 3-丁烯基、4-羟-3-吡啶甲基、苯乙基、4-戊烯基与 2-羟-3-丁烯基呈正相关, 苯乙基、4-戊烯基与 4-羟-3-吡啶甲基呈负相关. 对母本 GCA 而言, 3-丁烯基、4-戊烯基与 2-羟-3-丁烯基呈正相关, 苯乙基、4-羟-3-吡啶甲基与 2-羟-3-丁烯基呈负相关; ④ 各杂交组合硫苷组分的表型关系中, 亲本针对各组分 GCA 的相关性与母本配合力效应双标图中所显示出来的结果基本一致. 利用 GGE 双标图分析表明, 选用 D3AB 作母本、D21R 及 D1R 作为父本有利于降低杂种后代油菜籽中硫代葡萄糖苷的质量摩尔浓度.

关 键 词: GGE 双标图; 甘蓝型油菜; 硫苷; 配合力

中图分类号: S634.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)05-0009-09

油菜是我国的主要农作物之一, 也是我国长江沿岸广大人民的主要食用油来源^[1-3]. 油菜籽榨油后的饼粕中由于富含蛋白质、氨基酸以及维生素等物质, 通常被应用于优质饲料的加工. 然而, 普通油菜籽饼粕当中的硫代葡萄糖苷(硫苷)质量摩尔浓度通常较高, 其水解后可分解出有毒的异硫氰酸盐等物质, 可引起牲畜甲状腺肿大和代谢紊乱, 从而大大降低了油菜饼粕的饲用效果及利用价值^[4]. 因此, 试图通过遗传改良来降低饼粕中硫苷组分的质量摩尔浓度就成为了甘蓝型油菜品质育种的重要目标之一^[5].

双列杂交试验是研究亲本配合力的一种重要方法, 在传统分析中通常采用 Griffing 方法 IV^[6], 即把双列数据的总变异人为地分解为亲本的一般配合力(GCA)和杂交组合的特殊配合力(SCA). 双标图概念首先由 Gabriel^[7]提出, 用来图解主成分分析(PCA)或者特征值分解(SVD)两向数据表所得出的结果. 其中, AMMI 模型广泛应用于多点试验资料分析中, 但该模型仅仅分析了基因型与环境的互作, 对基因型本身很难进行全面系统的评价^[8-15]. 而 GGE 双标图法同时考虑基因型和基因与环境的互作, 是一种新开发的较之更为可靠的基因型评价方法^[16]. 为了使 GGE 双标图能够更直观、更全面地显示两向数据表中的信息结

① 收稿日期: 2013-10-11

基金项目: 重庆市重点科技攻关项目(CSTC2012ggB80008); 国家高新技术研究发展计划(“863”计划)(2011AA10A104).

作者简介: 张 敏(1988-), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事油菜育种与品质研究.

通信作者: 王 瑞, 副研究员, 博士.

果, Yan^[17]在 GGE 双标图基础上进一步提出平均指标坐标(ATC)法。

Sprague 等^[18]根据对玉米数量性状的研究和他们杂交育种的经验, 于 1942 年提出了一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的概念, 该概念认为一般配合力是指某一个纯合亲本和其他若干品种杂交后, 其杂交后代在某个数量性状上的平均表现, 而特殊配合力则是指某一特定组合 F_1 的实测值减去双亲一般配合力所呈现的表型偏差。而在 GGE 双标图分析中, 配合力(包括 GCA 和 SCA)的定义与其在经典数量遗传学中的定义有所区别, 规定亲本 GCA 为各亲本在 ATC 横轴上的投影, 其投影点越靠右, GCA 值越大, 在本文中各亲本 GCA 表示该亲本 F_1 代硫苷组分的平均表现; 而亲本 SCA 为各亲本在 ATC 纵轴上的投影, 各投影点距横轴上垂线的长短显示其 SCA 的大小, 在本文中各亲本一般配合力的稳定表现(即偏离平均表现的倾向), 其垂线越短, 稳定性越高^[17]。

目前, 国内应用 GGE 双标图进行分析的文章屡见报道^[19-23], 但应用 GGE 双标图分析油菜双列杂交试验的报道尚不多见^[24-25]。本文采用 GGE 双标图方法对甘蓝型油菜 4 个显性纯合两用系和 7 个显性核不育恢复系配制的不完全双列杂交试验进行分析, 用双标图显示了亲本对于 2-羟-3-丁烯基硫苷、3-丁烯基硫苷的一般配合力和特殊配合力、各杂交组合对于 2-羟-3-丁烯基硫苷和 3-丁烯基硫苷的特殊配合力, 以及亲本对于不同硫苷组分一般配合力之间的相关性, 为全面理解和评价亲本、选育低硫苷材料奠定了基础。

1 材料和方法

1.1 材料

用 4 个甘蓝型油菜显性纯合两用系 Gd1AB(S1), G8AB(S2), D3AB(S3), G588AB(S4)作母本, 7 个甘蓝型油菜显性核不育恢复系 15R(R1), 16R(R2), D1R(R3), 7R(R4), 91R(R5), 56R(R6), D21R(R7)作父本, 配制出不完全双列杂交组合共 28 个(为了方便表述, 我们将每个亲本对其编号, 括号内为它们对应的编号)。

1.2 试验设计

将 11 个亲本于 2011 年秋分别种植于西南大学歇马试验基地, 并按 4×7 设计配制杂交组合, 单株成对杂交, 共配制 28 个杂交组合。2012 年 4 月底收获 F_1 杂种, 同年秋季在西南大学试验农场种植亲本和 F_1 杂种, 随机区组设计, 2 次重复, 两行区, 每区 20~24 株, 开花期间 F_1 套袋自交。2013 年 4 月底收获亲本和 F_2 种子。由于油菜硫苷性状主要表现为母体遗传效应^[26], 因此 F_1 植株上所结的 F_2 种子的硫苷组分质量摩尔浓度能够较好地反应出 F_1 的表现, 故在后文分析中直接以 F_2 种子为材料。

1.3 硫苷组分检测方法

硫苷组分质量摩尔浓度的测定采用高效液相色谱国际标准方法 IS09167-1: 1992(E)^[27]。① 硫苷提取: 在电子天平上准确称取 0.20 g 已粉碎好的样品并转入离心管中, 在 75 °C 水浴锅中保温杀活 1 min, 取出后滴加 2 mL 70% 甲醇提取液以及 200 μ L 5 mol/L 苯烯基硫苷内标溶液, 然后再离心并将上清液转移至备好的试管中。此时再加入 2 mL 70% 甲醇进行提取, 静置后离心, 重复 3 次后将得到的上清液混合。吸取 2 mL 溶液于醋酸型 DEAE-SephadexA-25 阴离子交换柱中上柱, 待液体排干后, 再分别加入 2 次 1 mL 醋酸钠缓冲溶液至离子交换柱。待液体排干后, 用夹子夹紧枪头嘴部胶管, 加入 500 μ L 硫酸脂酶并于 36 °C 培养箱酶解 20 h 后取出, 用 1 mL 超纯水冲洗 3 次, 混匀收集的洗脱液。最后, 用 0.45 μ m 微孔滤膜进行过滤到自动进样器, 在液相色谱仪中进行数据分析。② 高效液相色谱分析: 本实验使用 Hitachi 公司生产的 D-7000 型色谱仪, 包括自动进样器、四元梯度高压泵、Spherisorb C18 柱(150 mm $\times$ 4 mm)色谱柱和二极阵列检测器。按照国际标准方法进行硫苷分量色谱峰定性, 其中进样量为 10 μ L, 流动相为 20% 乙腈, 柱温为 30 °C, 检测波长为 229 nm, 重复 2 次。硫苷组成质量摩尔浓度分析结果以每饼 μ mol/g 表示。

1.4 数据分析

参照 <http://www.ggebiplot.com/> 所提供的数据分析方法, GGE 双标图采用双标图作图软件 Version 6.3。

首先, 对试验中的双列杂交数据人为地进行指标中心化, 即在原始数据的基础上减去各个相应指标的均值后形成一个新的数据集, 使得到的数据中只含有试样主效应 G 以及试样与指标互动效应 GE . 其次, 对 GGE 做单值分解, 即以第 1 主成分(PC1)为 x 轴, 第 2 主成分(PC2)为 y 轴, 将所有的试样和指标同时置于一个平面图上, 最终形成我们所需要的 GGE 双标图. 同时, 为了能够分别对父本和母本进行评价, 在作图时父本和母本互为试样和指标, 即互为 x 轴和 y 轴.

2 结果与分析

2.1 亲本对于 2-羟-3-丁烯基的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)

图 1-a 以父本为试样、母本为指标, 显示了父本的 GCA 和 SCA. 各父本硫苷组分标准化数据总变异为 89.4%, 第 1 主成分的效应为 66.3%, 第 2 主成分的效应为 23.1%. 对于 2-羟-3-丁烯基而言, 父本 GCA 效应值 R_4 最大, R_2 次之, R_7 最小, 其顺序为 $R_4 > R_2 > R_5 > R_6 > R_1 > R_3 > R_7$; 父本 SCA 效应值 R_4 最大, R_5 最小, 其顺序为 $R_4 > R_3 > R_7 > R_2 > R_1 > R_6 > R_5$. 从 GCA 和 SCA 综合来看, R_4 和 R_2 是配合力较高的父本, R_7, R_3, R_1 配合力相对较低.

母本的 GCA 和 SCA 如图 1-b 所示, S_4 的 GCA 最高, S_3 的 GCA 最低, 其顺序为 $S_4 > S_1 > S_2 > S_3$; SCA 的顺序为 $S_2 > S_1 > S_4 > S_3$. 综合可知, S_4, S_1, S_2 的配合力较高, S_3 的配合力相对最低.

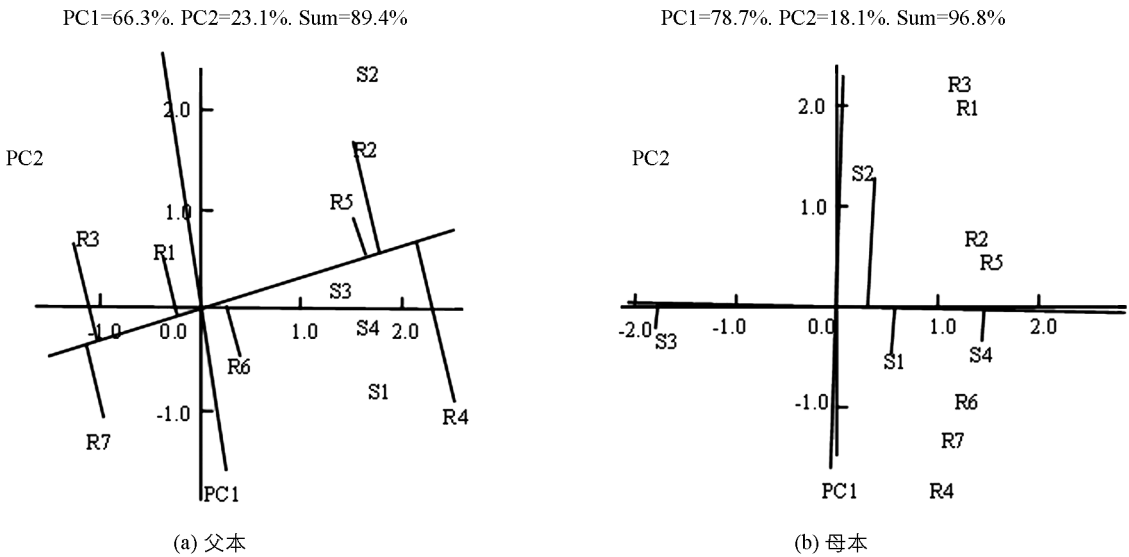


图 1 亲本对于 2-羟-3-丁烯基的一般配合力和特殊配合力

2.2 亲本对于 2-羟-3-丁烯基的最佳配合

双标图中, 为了分析各指标的最佳组配试样, 把双标图中距原点最远的试样标志点用直线连接起来, 这样就围成一个凸多边形, 将其他试样都囊括在内, 然后过原点作这个凸多边形各边的垂线, 将整个双标图分成若干个扇形区域, 每个指标标志点都自然而然地落于某个区中, 每一区顶角的试样就是对落在这一区中所有指标的最佳组配试样^[25]. 将图 1-a 最远的父本标志点连接如图 2-a 所示, 显示了各父本的最佳组配母本. 其中, 父本 R_4 的最佳组配是母本 S_1, S_4, S_3 , 父本 R_2 的最佳组配母本是 S_2 . 但是, 在父本 R_3 和 R_7 所在的区中, 由于没有一个母本落在里面, 所以父本 R_3 和 R_7 没有一个最佳的组配母本, 反而有可能是某个母本的最差组配父本; 父本 R_6, R_5, R_1 不在任何一个顶角位置, 它们虽然不是任何母本的最佳组配父本, 但也不是任何母本最差组配父本.

同样地, 连接图 1-b 中最远端的母本标志点, 可显示各母本的最佳组配父本. 如图 2-b 所示, 母本 S_4 的最佳组配父本是 R_4, R_7, R_6, R_5, R_2 , 母本 S_2 的最佳组配父本是 R_3 和 R_1 , 但母本 S_1 和 S_3 没有一个最佳组配父本.

在图 2-a 和图 2-b 的分析中, 虽然分别包含了父本和母本主效应(即父本和母本的一般配合力 GCA), 但并不能有效地反映父本和母本的交互作用. 为了弥补这一点, 我们对原始数据进行了双向中心化, 同时相应地去掉母本和父本的主效应, 这样得到的值就表现为某一特定组合 F_1 的实测值和由双亲一般配合力得到的预测值之间的差值, 用这个差值来表示组合 F_1 的特殊配合力 SCA. 这一定义与经典数量遗传学中定义相似, 都是反映母本与父本的交互效应. 其中, 同一扇区内的父本和母本组合的 SCA 较高. 如图 3 所示, SCA 较高的组合有 $S2 \times R3, S4 \times R6, S1 \times R4, S3 \times R4$; 而 SCA 较低的组合有 $S1 \times R3, S1 \times R7, S2 \times R2, S3 \times R3, S3 \times R7, S4 \times R1$ 等.

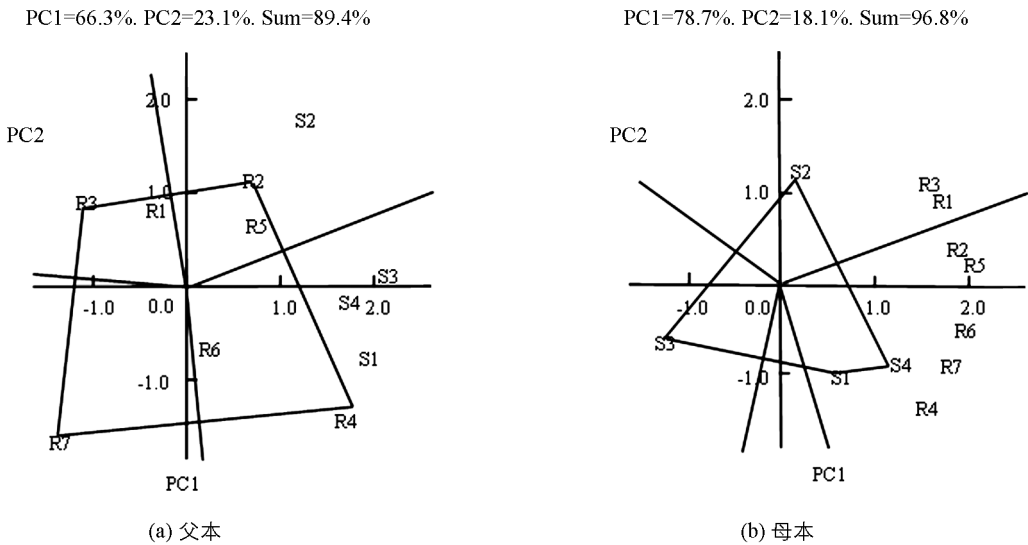


图 2 亲本对于 2-羟-3-丁烯基的最佳组合

2.3 亲本对于 3-丁烯基的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)

同分析亲本对于 2-羟-3-丁烯基的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)一样, 我们也可从 GGE 双标图中比较直观地看出亲本对于 3-丁烯基的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的大小, 其作图及分析方法同图 1. 如图 4-a 所示, 父本对于 3-丁烯基的一般配合力 $R4$ 最大, $R5, R2$ 次之, $R7$ 最小, 其顺序为 $R4 > R5 > R2 > R6 > R1 > R3 > R7$; SCA 效应值 $R2$ 最大, $R5$ 最小, 其顺序为 $R2 > R3 > R7 > R6 > R4 > R1 > R5$. 从 GCA 和 SCA 综合来看, $R4$ 是配合力较高的父本, $R7, R3, R1$ 配合力较低.

母本对于 3-丁烯基的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的大小如图 4-b 所示, 其中 $S4$ 的 GCA 最高, $S3$ 的最低, 4 个母本的 GCA 顺序为 $S4 > S1 > S2 > S3$, SCA 的顺序为 $S2 > S1 > S4 > S3$, 综合母本 GCA 和 SCA 可知, $S1, S2$ 的配合力较高, $S3$ 的配合力相对最低.

2.4 亲本对于 3-丁烯基的最佳配合

将图 4-a 转换成图 5-a 的形式, 作图及分析方法同图 2. 如图 5-a 所示, 父本 $R4$ 的最佳组配母本是 $S1, S4, S3$; 父本 $R2$ 的最佳组配母本是 $S2$. 由于在父本 $R3$ 和 $R7$ 所在的区中, 没有任何一个母本落在其中, 所以我们认为父本 $R3, R7$ 没有一个最佳的组配母本. 而父本 $R6, R5, R1$ 不处在任何顶角位置, 所以我们认为它没有一个最佳或最差的组配母本.

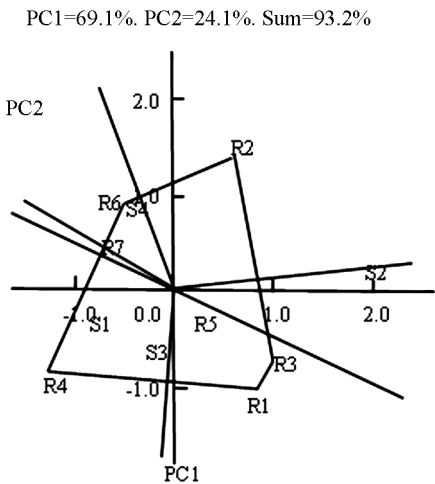


图 3 亲本对于 2-羟-3-丁烯基各组合的 SCA

同样地将图 4-b 转换成图 5-b 的形式, 即可显示出各母本的最佳组配父本, 母本 S4 的最佳组配父本是 R4,R7,R6,R5,R1, 母本 S2 的最佳组配父本是 R3,R2, 母本 S1 和 S3 没有最佳的组配父本.

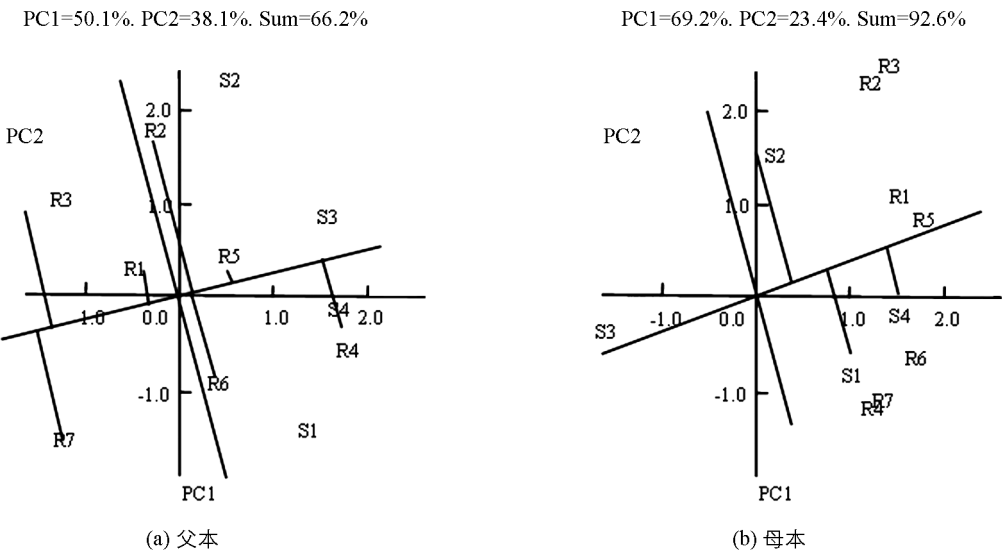


图 4 亲本对于 3-丁烯基的一般配合力和特殊配合力

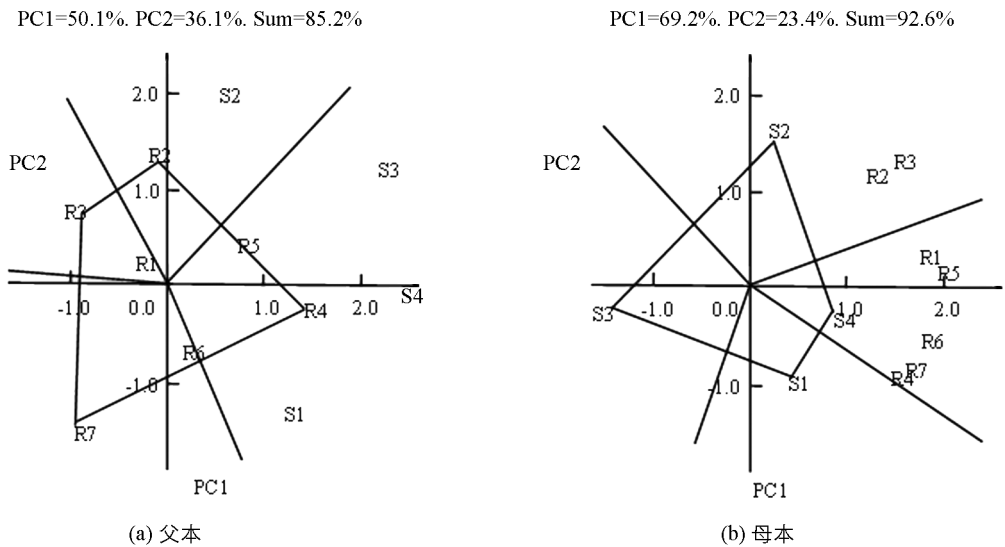


图 5 亲本对于 3-丁烯基的最佳组合

分别去掉图 5-a 和图 5-b 中父本主效应(GCA)和母本主效应(GCA), 并对原始数据进行双向中心化, 形成了可以充分显示各组合 SCA 的图 6. 从图 6 可以看出, SCA 较高的组合有 S2×R2,S2×R3,S4×R1, S4×R5,S4×R6; 而 SCA 较低的组合有 S1×R3,S1×R7,S2×R1,S2×R5,S3×R3,S3×R7,S4×R2 等.

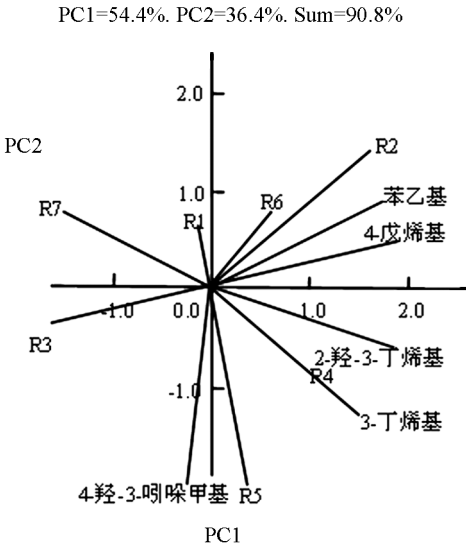
2.5 亲本对于各硫苷组分的配合力及亲本硫苷组分之间的关系

在 GGE 双标图中, 各硫苷组分之间的相关性可用指标向量和相邻指标向量间的夹角余弦值来反映, 夹角小于 90°表示正相关, 接近 90°表示无相关, 大于 90°表示负相关^[28]. 本试验中, 将原点到每个硫苷组分标志点之间的连线作为指标向量, 以其中一个指标向量为起始, 按顺时针方向进行旋转, 则其他硫苷组分与该组分之间夹角的余弦值就表示这 2 个硫苷组分 GCA 的相关系数. 在父本-硫苷双标图中, 硫苷组分标准化数据总变异为 90.8%, 说明数据信息得到了充分展示, 如图 7-a 所示. 2-羟-3-丁烯基、3-丁烯基、4-羟-3-吡啶甲基之间的夹角均小于 90 °, 表明这 3 个硫苷组分呈正相关, 苯乙基、

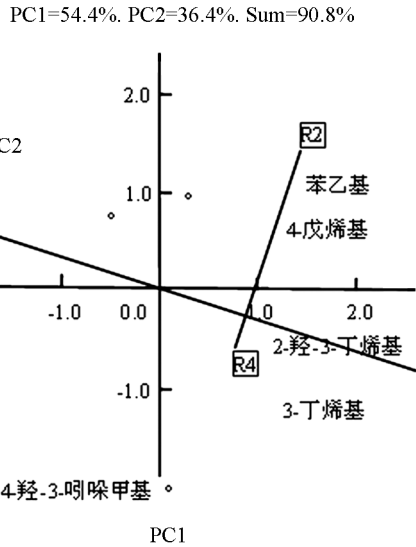
4-戊烯基、2-羟-3-丁烯基和3-丁烯基之间呈正相关,苯乙基与4-羟-3-吡啶甲基的夹角大于90℃,说明这2个组分的GCA呈负相关。

由于双标图可以同时显示亲本GCA以及各亲本针对某一特定硫苷组分的GCA,所以我们很容易对其中任意2个亲本某些方面的优劣进行比较。例如,当需要对某2个父本进行比较时,只需要过原点作这2个父本标志点连线的垂线,在该垂线的两侧,每一父本针对其同侧的硫苷组分,其GCA表现较高,反之较低。如图7-b所示,对父本R2和R4进行比较,R4针对2-羟-3-丁烯基、3-丁烯基和4-羟-3-吡啶甲基的GCA高于R2,但R2针对苯乙基、4-戊烯基的GCA高于R4。

母本各硫苷组分的关系如图8-a所示,2-羟-3-丁烯基与3-丁烯基、4-戊烯基呈正相关,而与苯乙基、4-羟-3-吡啶甲基呈负相关。连接最远的各母本标志点如图8-b所示,可显示各母本针对不同硫苷组分的GCA。其中,S4针对2-羟-3-丁烯基、3-丁烯基和4-戊烯基的GCA最高,S3针对4-羟-3-吡啶甲基的GCA最高,S1针对任一硫苷组分的GCA都不是最高。



(a) 父本各硫苷组分间的一般配合力及组分间关系



(b) R2与R4硫苷组分一般配合力的比较

图 7 父本-硫苷组分双标图

2.6 各杂交组合硫苷组分及关系

同上作图和分析法,图9所示为各杂交组合及硫苷组分的关系,其中总变异仅为79.8%,表明各杂交组合与硫苷组分之间的关系比较复杂。各杂交组合不同硫苷组分之间的关系为3-丁烯基与2-羟-3-丁烯基、4-戊烯基和苯乙基呈正相关,与4-羟-3-吡啶甲基呈负相关;2-羟-3-丁烯基与4-戊烯基和苯乙基呈正相关,与4-羟-3-吡啶甲基呈负相关。杂交组合各硫苷组分的相关性与母本各硫苷组分的相关性基本一致。

在甘蓝型油菜中,2-羟-3-丁烯基硫苷和3-丁烯基硫苷是高硫品种的重要组分,而4-羟-3-吡啶甲基硫苷是低硫品种的主要组分^[30]。因此,在低硫苷的强优势组合选育中应选择对于2-羟-3-丁烯基硫苷和3-丁烯基硫苷来说,GCA和SCA都相对较低的父母本配置杂交组合。综合前面的结果,在这套杂交组合的选择过程中,以S3(D3AB)作母本,R7(D21R),R3(D1R)作为父本可显著提高低硫苷新品种的改良效果。

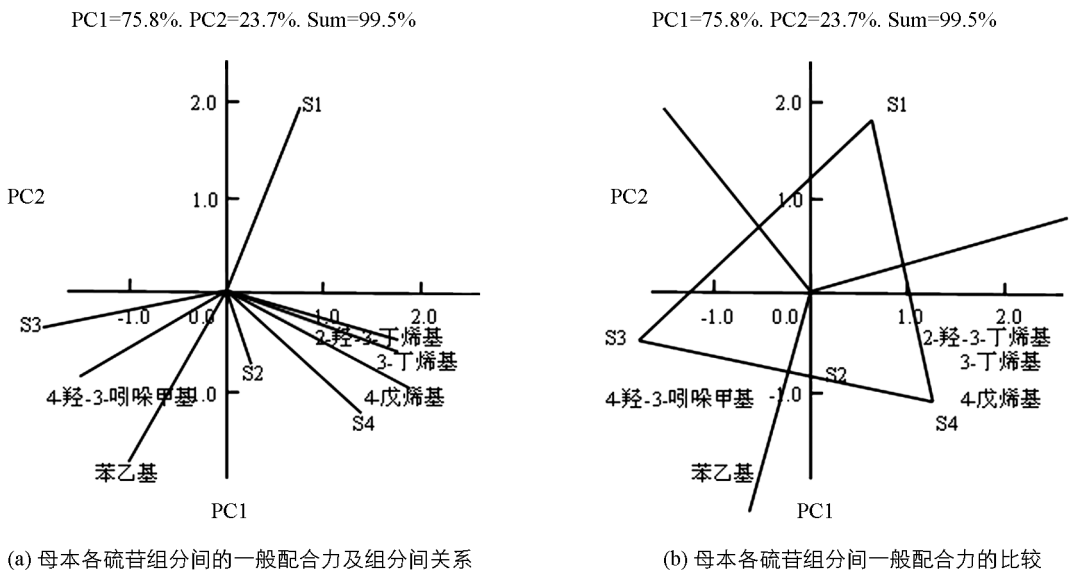


图 8 母本-硫苷组分双标图

3 讨 论

甘蓝型油菜中, 2-羟基-3-丁烯基硫苷和 3-丁烯基硫苷是高硫苷油菜中最主要的组分, 是引起不同油菜样品硫苷质量摩尔浓度差异的主要原因, 通过转基因技术和育种方法降低这两种硫苷成分质量摩尔浓度是获得低硫油菜品种最行之有效的方法^[27]. 通过对亲本 2-羟基-3-丁烯基硫苷及 3-丁烯基硫苷 GCA 和 SCA 的综合分析得出, 配合力较低的组合为 S3×R7(D3AB×D21R), S3×R3(D3AB×D1R), 因而以 D3AB 作母本, D21R 和 D1R 作父本, 可显著降低杂交后代的 2-羟基-3-丁烯基及 3-丁烯基硫苷的质量摩尔浓度.

硫苷各组分质量摩尔浓度除了受遗传主效应控制外, 还不同程度地受基因型和环境互作的影响^[28]. 对 3-丁烯基硫苷而言, 影响较大的是母体遗传效应, 且母体植株基因在不同环境条件下的表达是比较稳定的^[29]. 通过杂交种各硫苷组分的双标图分析, 3-丁烯基与 2-羟基-3-丁烯基、4-戊烯基和苯乙基呈正相关, 与 4-羟基-3-吡啶甲基呈负相关, 这与母本配合力效应的双标图所示的结果基本一致. 3-丁烯基硫苷与 2-羟基-3-丁烯基硫苷遗传中, 母本效应占主导地位, 这与前人研究的结果是一致的^[30].

双标图是一类统计学的统计图形, 可以同时把抽样和资料矩阵变量中的数据用图表直观地表示出来, 常用于基因与环境的互作关系、不同处理条件下各种指标间的关系和双列杂交试验结果等的分析. 本文用双标图分别分析了父本和母本对于硫苷中 2-羟基-3-丁烯基和 3-丁烯基的 GCA 和 SCA, 以图谱的形式显示了亲本组合的 SCA. 因此, 我们很容易筛选出 2-羟基-3-丁烯基和 3-丁烯基配合力较低的亲本组合来满足降低后代硫苷质量摩尔浓度的要求, 这大大简化了亲本选配工作的难度和工作量, 减少了低硫油菜杂交转育和选配的年限和成本.

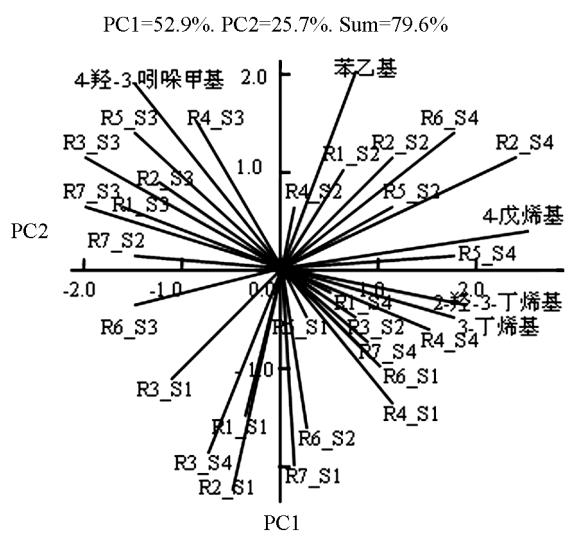


图 9 杂交种各硫苷组分及其关系

参考文献:

- [1] 薛远超, 李加纳, 刘列钊, 等. 甘蓝型油菜 EMS 诱变材料的耐湿性鉴定与筛选 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(4): 76—80.
- [2] 赵建波, 杨晓红, 张永艳, 等. AM 真菌对油菜的侵染及增产潜力研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(4): 88—92.
- [3] 田学军, 郭亚力, 李春燕, 等. 锰胁迫对甘蓝型油菜 *Brassica napus* L. 种子活力和幼苗抗氧化系统的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(2): 77—81.
- [4] 李德芳. 油菜籽中抗营养成分及其毒性作用 [J]. 江苏食品与发酵, 1994(4): 22—26.
- [5] 王庆仁. 油菜硫苷的农业生态学意义与研究进展 [J]. 生态农业研究, 1988, 6(3): 17—20.
- [6] GRIFFING B. Concept of General and Specific Combining Ability in Relation to Diallel Crossing Systems [J]. Aust J Biol Sci, 1956(9): 463—493.
- [7] GABRIEL K R. The Biplot Graphic Display of Matrices with Application to Principal Component Nalays [J]. Biometrika, 1971, 58(3): 453—467.
- [8] COOPER M, STUCKER R E, DELACY I H, et al. Wheat Breeding Nurseries, Targetenvironments, and Indirectselection Forgrain Yield [J]. Crop Sci, 1997, 37(4): 1168—1176.
- [9] CROSSA J, CORNELIUSP L. Sites Regression and Shiftedmultiplicative Model Clustering of Cultivar Trail Sites Underheterogeneity of Error Variances [J]. Crop Sci, 1997, 37(2): 405—415.
- [10] DELACY I H, BASFORD K E, COOPER M, et al. Plant Adaptation and Crop Improvement [M]. Oxon: CAB Int, 1996: 39—124.
- [11] GAUCH H G. Model Selection and Validation Foryield Trialswith Interaction [J]. Biometrics, 1988, 44: 705—715.
- [12] GAUCH H G. Full and Reduced Models for Yield Trials [J]. Theor ApplGenet, 1990, 80(2): 153—160.
- [13] 王 磊, 曾列先, 余汉勇, 等. 利用加性效应和乘积交互作用模型对国际杂交水稻园数据的分析 [J]. 中国水稻科学, 1997, 11(4): 198—204.
- [14] 王 磊, MCLAREN C G, 杨仕华. 利用双标图分析基因型和环境交互作用 [J]. 科技通报, 1997, 13(5): 281—286.
- [15] 张 泽, 鲁 成, 向仲怀. 基于 AMMI 模型的品种稳定性分析 [J]. 作物学报, 1998, 24(3): 304—309.
- [16] 王 磊, MCLAREN C G, 杨仕华. 利用双标图分析作物区试数据 [J]. 生物数学学报, 1997, 12(5): 557—563.
- [17] YAN W K. GGE Biplot-A Windows Application for Graphical Analysis of Multi-Environment Trial Data and Other Types of Two-Way Data [J]. Agronomy Journal, 2001, 93: 1111—1118.
- [18] SPRAGUE G F, TATUM L A. General vs. Specific Combining Ability in Single Crosses of Corn [J]. J Am Soc Agron, 1942, 34: 923—932.
- [19] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用 [J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1805—1819.
- [20] 罗 俊, 张 华, 邓祖湖, 等. 应用 GGE 双标图分析甘蔗品种(系)的产量和品种性状 [J]. 作物学报, 2013, 39(1): 142—452.
- [21] 张 勇, 何中虎, 张爱民. 应用 GGE 双标图分析我国春小麦的淀粉峰值粘度 [J]. 作物学报, 2003, 29(2): 245—251.
- [22] 张志芬, 付晓峰, 刘俊青, 等. 用 GGE 双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性试点代表性 [J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1377—1385.
- [23] 陈四龙, 李玉荣, 程增书, 等. 用 GGE 双标图分析种植密度对高油花生生长和产量的影响 [J]. 作物学报, 2009, 35(7): 1328—1335.
- [24] 尚 毅, 李少钦, 李殿荣, 等. 用双标图分析油菜双列杂交试验 [J]. 作物学报, 2006, 32(2): 243—248.
- [25] 尚国霞, 王 瑞, 李加纳, 等. 甘蓝型油菜油酸配合力的双标图分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 566—572.
- [26] 张海珍, 石春英, 吴建国, 等. 油菜籽硫代葡萄糖苷含量的胚、细胞质、母体遗传效应分析 [J]. 作物学报, 2004, 30(1): 31—35.
- [27] 严威凯, 盛庆来, 胡跃高, 等. GGE 叠图法—分析品种×环境互作模式的理想方法 [J]. 作物学报, 2001, 27(1): 21—28.
- [28] 李培武, 赵永国, 张文等. 中国甘蓝型油菜硫苷含量及组分分析 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1346—1352.

[29] 王 瑞,徐新福,李加纳,等. 甘蓝型油菜硫苷组分的胚、细胞质和母体遗传效应分析 [J]. 作物学报, 2007, 33(12): 2001—2006.

[30] 王 瑞,李加纳,唐章林,等. 甘蓝型油菜显性纯合两用系和临时保持系同源化策略 [J]. 西南大学学报:自然科学版, 2009, 31(8): 52—56.

GGE Biplot Analysis of Glucosinolate Components of Rapeseed *Brassica napus* L.

ZHANG Min, WANG Nai-hong, LI Shi-meng,
WU Guo-chao, XU Xin-fu, WANG Rui

School of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: This paper reports an analysis of a 4×7 incomplete diallel cross of *Brassica napus* L. using GGE biplot. The following patterns were visualized from the biplots. (1) Across the desulfoprogoin, male parents D21R and D1R had low general combining ability (GCA), and 91R and 56R had low specific combining ability (SCA), female parent D3AB had low GCA and low SCA, and the combinations with low SCA included $S3 \times R3$, $S3 \times R7$ and $S1 \times R3$. (2) Across the desulfogluconapin, male parents 15R and 91R had low GCA, while D1R and D21R had low SCA, female parents Gd1AB and D3AB had low GCA, while D3AB had low SCA, the combinations with low SCA included $S3 \times R3$, $S3 \times R7$ and $S1 \times R7$. (3) Across the male parents, the GCA of desulfogluconapin, desulfo-4-hydroxyglucobrassicin, desulfogluconasturtin and desulfoglucobrassicinapin was positively correlated with the GCA of desulfoprogoin, and the GCA of desulfogluconasturtin and desulfoglucobrassicinapin was negatively correlated with the GCA of desulfo-4-hydroxyglucobrassicin. Across the female parents the GCA of desulfogluconapin and desulfoglucobrassicinapin was positively correlated with the GCA of desulfoprogoin, whereas the GCA of desulfogluconasturtin and desulfo-4-hydroxyglucobrassicin were negatively correlated with the GCA of desulfoprogoin. (4) According to glucosinolate components in the hybrid phenotype relationship, the correlation of GCA for glucosinolate components of hybrids was consistent with the results on biobl for female parents. The results on biplot indicated that $D3AB \times D21R$ and $D3AB \times D1R$ were better than other combinations for effectively reducing glucosinolates.

Key words: GGE biplot; *Brassica napus* L. ; glucosinolate; combining ability

责任编辑 夏 娟

