

减少养分条件下棉花杂种优势变化的研究

潘春桂, 胡晓照, 毕根苗, 马兰英, 吴成梅

安徽省东至县棉花原种场, 安徽 池州

收稿日期: 2025年5月5日; 录用日期: 2025年6月5日; 发布日期: 2025年6月13日

摘要

为了了解外界养分条件对棉花有关性状杂种优势的影响, 本文设置了三种养分供给条件和十二个杂交一代, 结果表明, (1) 同时减少氮磷钾供给时, 棉花全株干重、籽皮棉质量及单株成铃数中亲优势显著增大; (2) 减少氮供给时, 棉花全株干重中亲优势呈阶段性更为显著的下降趋势; (3) 氮磷钾正常施用, 生育后期全株干重、籽皮棉质量及生物性状中亲优势不同组合间变异性最大。结论: 可以在杂种优势与外界养分条件两者变化之间建立对应关系, 这将为最终揭示杂种优势机理奠定基础。因此进一步在不同养分条件下的大样本研究, 具有极其重要的意义。

关键词

杂种优势, 减少养分, 对应关系, 大样本

Study on the Changes of Cotton Heterosis under Reduced Nutrient Conditions

Chungui Pan, Xiaozhao Hu, Genmiao Bi, Lanying Ma, Chengmei Wu

Cotton Seed Farm of Dongzhi County, Anhui Province, Chizhou Anhui

Received: May 5th, 2025; accepted: Jun. 5th, 2025; published: Jun. 13th, 2025

Abstract

In order to understand the influence of external nutrient conditions on the heterosis of cotton related traits, three nutrient supply conditions and twelve hybrids were set up in this study. The results indicate that: (1) when nitrogen, phosphorus, and potassium supply were simultaneously reduced, the mid-parent heterosis of cotton whole plant dry weight, seed cotton and lint cotton yield, and number of bolls per plant significantly increased; (2) when nitrogen supply was reduced, the mid-parent heterosis of cotton whole plant dry weight showed a more significant downward trend in the stage; (3) when nitrogen, phosphorus, and potassium were applied normally, the variability

of the mid-parent heterosis among different individuals of whole plant dry weight, yield, and biological traits in the later stage of growth was the greatest. Conclusion: This indicates that a corresponding relationship can be established between the change of hybrid vigor and the change of external nutrient conditions, which will lay the foundation for ultimately revealing the mechanism of hybrid vigor. Therefore, further research on large samples in different nutrient conditions may be of great significance for revealing the mechanism of hybrid vigor.

Keywords

Heterosis, Reduced Nutrients, Corresponding Relationship, Large Samples

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

长期以来, 杂种优势机理的研究已有很多探索和尝试, 目前研究的共同性在于建立内在基因或分子学效应与杂种优势的对应关系, 但远未取得一致性结论, 使该项研究陷入停滞状态[1]; 因此提出一种新的研究方法是必要的, 本文试图在杂种优势与外界条件两者变化之间建立对应关系。另一方面, 从生产上而言, 如何提高和有效利用杂种优势的研究也非常重要, 这包括研究应用杂种优势应对各种逆境条件。由于施用过多的化学肥料有增加生产成本和对环境不友好两种弊端, 因此, 减少养分供给条件下杂种优势的研究也非常必要。这对于存在缺肥的贫瘠土壤的作物生产也具有一定意义。前期大量研究表明, 减少氮单一养分或氮磷钾同时减少时, 杂种优势或遗传机制发生了改变。但这两种养分条件对杂种优势的影响是否具有差异性还未见报道, 本文在一次试验中, 同时设置了这两种养分条件, 以棉花生物量及经济产量等性状作研究对象, 期望它对揭示杂种优势机理这个世纪难题具有重要启示。

2. 材料与方法

试验材料包括 7 个棉花品种(系)及 12 个杂种一代, 7 个品种(系)包括 3 个株形松散型, 分别为(1) 自选 D015、(2) 自选 T112 及(3) 荆州 3517, 另外 4 个为株型紧凑型, 分别为(4) 中 80、(5) 中棉所 41、(6) 泗抗 1 号及(7) 泗棉三号, 3 个株形松散型与 4 个株形紧凑型不完全双列杂交获得 12 个杂种一代。田间为裂区设计, 主区为 3 种施肥方法, 分别为不施任何肥料(A)、每 667 m² 施 N 10 kg + 施 P₂O₅ 6 kg + 施 K₂O 5 kg (B)、每 667 m² 施磷 P₂O₅ 6 kg + 施 K₂O 5 kg (C), 氮、磷、钾三种肥料分别是尿素、过磷酸钙及氯化钾。各种施肥方法的肥料分别混合后, 10%作底肥, 6 月 10 日 7 月 20 各施 40%和 50%。副区包括 7 个常规品种(系)及 12 个杂种一代。每小区 20 m² 3 行区, 密度每 667 m² 2000 株, 三次重复, 其他常规管理。试验地全氮 1.00 g/kg, 有效磷 22.60 mg/kg, 速效钾 108.62 mg/kg, 有机质 26.08 g/kg, pH 6.8, 前茬油菜。试验地经度 117.1, 纬度 30.5。

测定项目有: 分别在早期(7 月 10 日, 开花期前后)、中期(8 月 20 日, 吐絮期前后)及晚期(9 月 20 日, 有效结铃期), 在小区中间一行进行同一方向连续取样, 每次五株。挖取棉株后 105℃杀青 30 分钟, 80℃烘至恒重测定全株干重。另外还取 50 朵中部花测定铃重、衣分, 有效结铃期在各小区调查 10 株棉花, 统计单株成铃数、株高及果枝数平均值。籽皮棉质量取实收值。中亲优势为杂种一代值与双亲均值之差占双亲均值百分比。

3. 结果与分析

对于全株干重的差异性，方差分析表明，在取样期早期，不同施肥方法之间达 10%概率水平，不同遗传型之间达 5%概率水平；在取样期中期，不同施肥方法之间达 1%概率水平，不同遗传型之间达 1%概率水平，晚期也是如此。

对于产量及生物性状的差异性，方差分析表明，不同遗传型之间，除了果枝数和衣分未达到显著水平，株高及铃重达到 5%概率水平，单株成铃数、籽皮棉质量达到 1%概率水平；三种施肥方法间，除了果枝数、铃重及衣分未达到显著水平，株高达到 5%概率水平，单株成铃数、籽皮棉质量均达到 1%概率水平。各种性状值见表 1 及表 2。

Table 1. Whole plant dry weight of hybrid and its parents under different periods and fertilization methods (unit: g, mean ± standard deviation)

表 1. 不同时期和施肥方法之下杂种一代和亲本全株干重(单位: g, 均值 ± 标准差)

取样期	施肥方法	杂种一代	亲本
7 日 10 日	A	76.5 ± 15.8	67.6 ± 17.0
	B	81.3 ± 17.2	72.2 ± 20.4
	C	80.0 ± 16.5	69.8 ± 17.5
8 月 20 日	A	197.4 ± 20.6	172.4 ± 27.0
	B	224.4 ± 22.4	203.3 ± 38.6
	C	200.1 ± 19.3	184.7 ± 23.2
9 月 20 日	A	280.9 ± 45.8	248.6 ± 48.3
	B	311.5 ± 51.0	281.2 ± 66.3
	C	295.1 ± 45.6	270.3 ± 47.6

Table 2. Cotton yield and biological traits per plant under different fertilization methods (mean ± standard deviation)

表 2. 不同施肥方法之下棉花单株产量及生物性状(均值 ± 标准差)

施肥方法	株高(cm)	果枝数(个)	成铃数(个)	铃重(g)	衣分(%)	籽棉质量(g)	皮棉质量(g)
A	105.6 ± 7.8	18.9 ± 0.4	28.7 ± 5.8	5.7 ± 0.3	40.2 ± 1.1	112.8 ± 15.8	45.3 ± 13.9
	99.9 ± 9.9	18.7 ± 0.6	24.1 ± 10.3	5.6 ± 0.7	39.9 ± 0.7	92.6 ± 21.9	37.0 ± 17.2
B	110.8 ± 6.2	19.8 ± 0.6	32.6 ± 9.5	5.8 ± 0.4	40.0 ± 0.8	124.9 ± 17.6	50.0 ± 16.0
	105.3 ± 8.1	19.6 ± 0.7	27.1 ± 11.3	5.7 ± 0.7	39.7 ± 0.9	103.5 ± 22.2	42.0 ± 20.1
C	108.2 ± 6.0	19.2 ± 0.6	30.8 ± 6.3	5.8 ± 0.3	40.5 ± 0.9	117.2 ± 17.0	46.4 ± 14.6
	103.1 ± 7.4	19.2 ± 0.8	25.5 ± 8.7	5.6 ± 0.5	40.6 ± 1.1	97.0 ± 19	38.5 ± 17.3

注：表中数字奇数行为杂种一代值，偶数行为相应亲本值。

对表 3 进行分析，首先分别在三个取样时期比较不同施肥方法间全株干重杂种优势的大小。在取样期早期，施肥方法 A 与 B 相比，仅有 1 × 6、2 × 4、2 × 6 及 3 × 6 四个组合 B 稍大于 A，其他八个组合均为 A > B，A 的总均值为 14.7%，显著大于 B 的总均值 12.8%；B 与 C 相比，仅有 1 × 6 及 2 × 6 两个组合表现为 B > C，其余十个组合均为 C > B，C 的总均值为 13.6%，稍大于 B 的总均值 12.8%；A 与 C 相比，1 × 7、2 × 4、2 × 5 及 3 × 6 四个组合表现为 A < C，其余八个组合均为 A > C，A 总均值 14.7%大于 C 总均值 13.6%。三种施肥方法间整体上大小顺序为 A > C > B；

在取样期中期，A 与 B 相比，1 × 6、2 × 5、2 × 6、2 × 7 及 3 × 6 共五个组合表现为 A 稍小于 B，其

余七个组合表现为 A 显著大于 B，总均值 A 为 13.5%，显著大于 B 的 11.4%；B 与 C 相比，十二个组合均表现为 B>C，B 总均值 11.4%显著大于 C 的总均值 7.9%；A 与 C 相比，十二个组合均表现为 A>C，A 的总均值 13.5%显著大于 C 的总均值 7.9%。整体上表现为 A>B>C。

Table 3. The mid-parent heterosis (%) of whole plant dry weight under different periods and fertilization methods
表 3. 不同时期和施肥方法之下棉花全株干重中亲优势(%)

取样期	施肥方法	1×4	1×5	1×6	1×7	2×4	2×5	2×6	2×7	3×4	3×5	3×6	3×7	均值 ± 标准差
7 月 10 日	A	14.6	17.1	22.5	12.9	6.9	10.9	22.2	14.6	10.8	7.6	18	19.1	14.7 ± 5.2
	B	10.8	12.6	24	11.9	8.2	9.1	23	13.4	6.6	2.2	19.6	13.3	12.8 ± 6.5
	C	12.1	14.2	21.9	13	9.4	11	17.1	14.5	10	3	20.8	16.1	13.6 ± 5.1
8 月 20 日	A	16.2	15.4	20.7	13	9.2	9	18.2	11.6	9.1	8.9	15.2	16.2	13.5 ± 4.0
	B	7.5	11.5	23	8.5	7.1	9.3	21.6	11.8	6.7	4.2	18.9	7.3	11.4 ± 6.2
	C	6.6	7.3	15.9	6.2	4.4	4.1	17.9	7.3	3.8	2.3	16.6	2.8	7.9 ± 5.6
9 月 20 日	A	12.8	14.3	16.6	13.5	10.6	11.5	16	13.1	8.8	6.9	11.2	15.6	12.6 ± 2.9
	B	8	7.5	18	7.7	6.1	8.9	19.6	6.3	6.2	4.1	14	4.2	9.2 ± 5.1
	C	8.1	8.8	16.6	7.1	5.8	7.7	15	7.6	6.3	7.6	16	4.5	9.2 ± 4.1

Table 4. The mid-parent heterosis (%) of biological and yield traits of cotton plants under different fertilization methods (mean ± standard deviation and distribution range)
表 4. 不同施肥方法下棉花单株生物性状和产量性状中亲优势(%) (均值 ± 标准差及分布区间)

施肥方法	株高	果枝数	成铃数	铃重	衣分	籽棉质量	皮棉质量
A	4.0 ± 1.4	0.2 ± 0.5	21.5 ± 6.7	4.7 ± 1.8	1.2 ± 1.7	23.2 ± 6.2	23.4 ± 7.6
	1.9~5.8	-0.3~1.2	12. ± 36.0	1.1~7.0	-1.0~3.1	15.6~34.0	16.1~36.2
B	4.4 ± 2.8	0.3 ± 0.8	18.1 ± 9.0	2.7 ± 2.4	0.9 ± 2.2	20.2 ± 8.0	19.6 ± 8.4
	-0.9~7.5	-0.8~1.5	6.6~35.4	-0.9~7.0	-3.0~4.0	14.0~38.6	11.6~41.2
C	4.5 ± 1.9	0.3 ± 0.5	18.1 ± 6.9	3.3 ± 2.5	1.8 ± 1.9	22.2 ± 7.6	20.7 ± 6.6
	1.3~7.4	-0.4~1.3	6.8~31.2	0.4~7.5	-2.1~4.3	13.9~32.0	9.3~35.3

在取样期晚期，A 与 B 相比，仅 1×6、2×6 及 3×6 三个组合表现为 B 稍大于 A，其余九个组合 B 均显著小于 A，A 的总均值 12.6%显著大于 B 的总均值 9.2%；B 与 C 相比，1×6、1×7、2×4、2×5 及 2×6 共五个组合表现为 B 大于 C，其余七个组合均为 B 小于 C，两者总均值均为 9.2%。A 与 C 相比，仅 1×6、3×5 及 3×6 三个组合表现为 A 与 C 相近或 A 稍小。其余九个组合均为 A 显著大于 C，A 的总均值 12.6%显著大于 C 的总均值 9.1%。整体上表现为 A>B≈C。

其次分析三种施肥方法生育进程中全株干重杂种优势的变化。从取样期早期到取样期中期(简称早中期，下同)，对于施肥方法 A，杂种优势增加的组合有 1×4、1×7、2×4 及 3×5，其余八个组合杂种优势下降。总均值从 14.7%变为 13.5%，略微下降。从取样期中期到取样期晚期(简称中晚期，下同)，杂种优势增加的组合有 1×7、2×4、2×5 及 2×7，其余八个组合减小。总均值从 13.5%变化为 12.6%，略有减小。

对于施肥方法 B，在早中期，杂种优势增加的组合有 2×5、3×4 及 3×5，另外九个组合杂种优势

减小。总均值从 12.8% 变化为 11.4%，下降较为显著。在中晚期， 1×4 表现为增加，其余十一个组合减小。总均值从 11.4% 变化为 9.2%，显著减小。

对于施肥方法 C，在早中期， 2×6 表现为增加，其余十一个组合减小。总均值从 13.6% 变化为 7.9%，极显著减小。在中晚期， 2×6 及 3×6 减小，其余十个组合表现为增加。总均值从 7.9% 变化为 9.2%，增加较显著。

以上结果表明，从整体上或一致性上来观察，(1) 不施氮磷钾时，在取样期早期、中期及晚期三个时期，比另外两种施肥方法均有更大的中亲优势，随时间变化趋势为，从取样期早期开始缓慢下降。(2) 氮磷钾均施用并不能增加杂种优势，反而有减小效应，而且随着生育期推后，呈显著下降趋势。(3) 仅施磷钾时，取样期早期有较大的杂种优势，但早中期下降幅度最大，中后期稍有增加。

从表 4 能够看出，对于三种施肥方法，几乎所有组合均存在下列现象，株高、果枝数、铃重及衣分四个性状中亲优势较小，单株成铃数及籽、皮棉质量三个性状具有较大的中亲优势；另外，单株成铃数及籽、皮棉质量三个性状中亲优势仍以不施肥方法最大，而且在仅施磷钾肥和氮磷钾均施用两种方法间均差异不大。另外从表 4 可看出，株高、果枝数、单株成铃数、单铃重、衣分、单株籽棉质量及单株皮棉质量的中亲优势的变异性，均以氮磷钾均施用时最大。

4. 结论和展望

减氮条件下对杂种优势的影响已有很多报道，各种试验的结果可归为几个方面，(1) 减氮可以减少生物量及相关性状的杂种优势[2]-[8]。在本试验取样期中期可见这种现象。(2) 减氮之下在一定生育阶段生物量及相关性状杂种优势呈更显著的下降趋势[2][5]。在本试验早中期可见这种情况。(3) 在一定条件下，减氮对生物量及相关性状杂种优势并没有减小效应[9]-[11]。在本试验取样期早期及晚期可见这种情况。氮磷钾三种养分均不施用时，有研究表明生物量及相关性状杂种优势增加[12][13]。在本试验取样期早期、中期及晚期均发生过这种情况。不难看出，各种结果与试验材料、样本大小及取样时期等条件有关。减少其他养分的研究也有报道，减钾[14][15]减磷[16]及减少水分[17]-[21]时生物量或经济产量杂种优势减小。综合以上相关文献的结论可初步看出，减少单一养分可使杂种优势减小，而减少多种养分时杂种优势增加。本文首次在一个试验中，同时设置减少单一养分和减少多种养分两种处理，试验结果支持以上结论。

潘春桂研究[22]表明，在模拟条件下，假设养分充分时，各种养分吸收速度加性遗传，可得出，(1) 当各种养分不足时，双亲养分吸收被更大程度地抑制，从而获得杂种优势。(2) 当各种养分减少时，可加快杂种优势形成。(3) 大样本前提下，当某种单一养分严重减少时，可导致杂种优势显著减小。另外研究还提示，杂种优势机理最有效的研究对象应该是整体生物量或全株干重而不是经济产量。以上结论和本试验取样期中期的结果一致。2022 年中国农大的学者 Xie 用希尔方程模拟了存在/缺失等位变异在不同背景条件下的杂种优势表现，提出了 HoIIB 假说。该假说认为杂种优势取决于遗传背景，在背景不充分的情况下，亲本中两个纯合等位基因被抑制，而 F1 代中单个等位基因可以正常表达，从而表现出部分显性、显性或超显性。并且，补充来自遗传背景的转录产物，如调控靶基因启动子的转录因子后，非加性效应会转变为加性效应。换言之，杂种优势是双亲被抑制条件下所表现出的一种相对优势，并非是绝对存在的[1]。能看出以上两种研究的结论存在相似之处，表明建立外界养分条件与杂种优势两者变化之间对应关系是必要的，也是可能的[22]。这将为最终揭示杂种优势机理奠定基础。因此，进一步开展大样本并设置不同养分条件和取样时期的研究具有极其重要的意义。

参考文献

- [1] 朱家华, 沈俊男, 伊旭东, 等. 杂种优势形成机制和预测方法及其在猪生产中的应用与展望[J]. 遗传, 2024, 46(8):

627-639.

- [2] 赵万春, 高翔, 董剑. 氮肥对杂交小麦组织氮积累及杂种优势的影响[J]. 作物杂志, 2005, 23(4): 40-43.
- [3] 王汉霞. 不同氮效率小麦品种苗期相关指标的杂种优势[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(4): 442-452.
- [4] 崔文芳. 玉米氮效率特性及评价指标的研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [5] 徐世英, 王宁, 程皓. 玉米杂交种及亲本苗期性状对低氮胁迫动态响应的研究[J]. 作物杂志, 2022, 38(4): 90-98.
- [6] 陈泽辉, Carpena, A.L. 热带玉米耐低氮性状的遗传变异[J]. 西南农业学报, 2000, 13(1): 42-49.
- [7] 王建海. 玉米苗期耐低氮杂种优势及 MIR 等位变异的分析[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
- [8] 杨肖娥, 孙羲. 杂交水稻光合作用的优势及其与氮素营养的关系[J]. 浙江农业大学学报, 1991, 17(4): 355-359.
- [9] 顾炳朝, 岳绪国. 油菜杂交种和亲本成熟期干重分配差异的研究[J]. 上海农业学报, 2011, 27(4): 54-57.
- [10] 许蒙蒙. 氮胁迫条件下玉米苗期性状及其杂种优势的遗传分析[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [11] 钱春荣, 于洋, 郝玉波, 等. 不同供氮水平下玉米生产力的杂种优势特征[J]. 玉米科学, 2022, 30(5): 108-115.
- [12] 房闵. 北方杂交粳稻耐低肥特性及杂种优势研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [13] 刘艳玲. 不同玉米品种对肥力反应的研究[D]: [硕士学位论文]. 通辽: 内蒙古民族大学, 2007.
- [14] 李华, 杨肖娥, 罗安程. 不同氮源和钾水平对杂交组合及常规稻生长和养分吸引的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 278-284.
- [15] 王汉霞, 田晓莉, 华含白, 等. 缺钾对棉花杂种优势的影响[C]//中国作物学会. 2009 年中国作物学会年会论文摘要集. 北京: 中国作物学会, 2009: 9.
- [16] 刘向生. 玉米磷效率基因型差异的生理及遗传分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [17] 李博, 田晓莉, 王刚卫, 等. 苗期水分胁迫对玉米根系生长杂种优势的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 34(4): 662-668.
- [18] 卫云宗, 张久刚, 乔蕊清. 不同条件下冬小麦 F1 杂种优势效应[J]. 华北农学报, 1998, 13(3): 23-29.
- [19] 王君, 籍秀梅, 于海秋, 等. 玉米植株抗旱性状的杂种优势分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(5): 9-14.
- [20] 程尚志. 粳/籼及籼/粳水旱杂交组合的杂种优势和抗旱性分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [21] 罗明亮. 甘蓝型油菜苗期耐旱相关性状的配合力和遗传效应分析[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [22] 潘春桂. 论杂种优势机理的逻辑体系[J]. 广西农学报, 2022, 37(4): 12-15.