

棉花源库调节对铃叶光合产物运输分配的影响

张祥 张丽 王书红 王进友 王永慧 陈源 陈德华*

(扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室,江苏扬州 225009)

摘要: 通过早打顶去边心和人工剪叶,研究了减库或减源对铃、叶光合产物运转分配的影响。结果表明,当棉铃发育受减库调节时,铃体积增大,铃重提高,而且对高品质棉科棉1号影响较大;花后40 d科棉1号叶片可溶性糖和淀粉含量分别比对照增加41.0%和4.1%,常规棉苏棉15分别比对照增加14.8%和77.3%;花后30 d铃对位叶标记24 h后¹⁴C光合产物的输出,科棉1号增加17.6%,苏棉15增加6.8%;棉铃光合产物输入率,科棉1号比苏棉15增加3.6%;此外,铃柄韧皮部中全氮、可溶性糖增加;棉铃发育受叶源限制调节时,铃体积减小,铃重降低,而且对苏棉15影响大;叶片中可溶性糖和淀粉含量减少,全株去3/4叶处理花后40 d科棉1号分别比对照减少8.7%和28.4%;苏棉15分别减少23.6%和32.2%。叶片¹⁴C光合产物输出率和棉铃¹⁴C光合产物输入率均降低,其中又以苏棉15下降幅度大。铃柄韧皮部中全氮、可溶性糖也相应下降。因此,通过技术手段调节源库,可以促进高品质棉叶片光合产物向棉铃输送,进而提高铃重。

关键词: 棉花;源库调节;棉铃;运输分配

Effect of Source-Sink Regulation on the Transportation and Allocation of Boll-Leaf Photosynthetic Products in Cotton

ZHANG Xiang, ZHANG Li, WANG Shu-Hong, WANG Jin-You, WANG Yong-Hui, CHEN Yuan, and CHEN De-Hua*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

Abstract: The objective of this study was to investigate the boll development and the boll-leaf photosynthetic products transportation and allocation by using two cotton cultivars, one with conventional fiber quality (Sumian 15), and the other with high fiber quality (Kemian 1) during the 2004 and 2005 growing seasons. Two treatments of cutting top of main stem and all fruiting branches to decrease the boll sink, and three treatments of cutting off different ratio of each leaf in whole plant to restrict the boll development were designed. In comparison with the control, in decreasing boll sink treatment, the boll volume increased and the boll weight enhanced. The leaf soluble sugar content and starch content increased by 41.0% and 4.1% respectively for Kemian 1, by 14.8% and 77.3% for Sumian 15 respectively at 40 days post anthesis (DPA). The ¹⁴C assimilates exportation rate from leaf increased too, with 17.6% and 6.8% for Kemian 1 and Sumian 15 respectively at 24 h after labeling in 30 DPA. The ¹⁴C assimilates importation rate to boll enhanced, with 13.7% and 10.1% for Kemian 1 and Sumian 15 respectively. The total nitrogen and soluble sugar contents in phloem sap also increased for the two different cultivars. Compared with the control, in insufficient leaf source treatment, the boll volume decreased and the boll weight reduced. In the treatment of cutting 3/4 leaves area, the leaf soluble sugar content and starch content decreased by 1.36 mg g⁻¹ and 2.69 mg g⁻¹ respectively at 40 DPA for Kemian 1, by 3.69 mg g⁻¹ and 3.05 mg g⁻¹ respectively for Sumian 15. The exportation and importation rates of ¹⁴C assimilates decreased, especially for Sumian 15. The contents of total nitrogen and soluble sugar in phloem sap also decreased for the two cultivars. These results suggest that effective techniques should be used to enhance the boll development by transporting more assimilates from leaves to bolls, enhancing the boll weight, and laying a good foundation for higher yield.

Keywords: Cotton; Source-sink regulation; Boll; Transportation and allocation

作物的“源-库”关系前人已经进行了大量研究^[1-6],在棉花上,铃、叶是棉株光合产物“库”和“源”的主体,“铃-叶”关系反映着棉株营养生长和生殖生长的协调状况,影响棉花的产量和品质^[7-10]。高

品质棉的纤维长度在31~32 mm,比强度在35 cN tex⁻¹以上,麦克隆值在4.1~4.5。其原棉在纺织上可代替海岛棉纺织高支纱和精梳纱,显著降低成本。高品质棉是由陆地棉与海岛棉杂交选育而成,其生

长发育、产量形成和纤维品质等与常规品质陆地棉相比有明显的变化,研究高品质棉花的源库关系对于协调产量及纤维品质形成,实现高产和优质同步发展具有重要意义。前人的研究主要集中在常规纤维品质的棉花源库关系上,而对高品质棉这一新类型棉花的源库关系少见报道^[11-13],特别是高品质棉和常规品质棉源库关系的差异更未见报道。本文旨在探讨源库变化对铃叶光合产物运输分配的影响,为棉花生产上促进高品质棉铃铃发育,提高产量和改善纤维品质提供理论和实践依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2004—2005年在扬州大学农学院遗传生理实验室试验农场进行,试验地土壤含有有机质1.68%、水解氮134.7 mg kg⁻¹、速效磷25.2 mg kg⁻¹、速效钾80.6 mg kg⁻¹。供试品种为江苏棉花生产上种植面积最大的高品质棉品种科棉1号和常规棉品种苏棉15。分减库促进棉铃发育和叶源限制棉铃发育2个试验。

减库促进棉铃发育试验于大田进行,通过早打顶减少铃库数量促进已形成棉铃的发育。设2个处理:①7月15日早打顶并去除每台果枝顶芽,②以8月5日正常打顶但保留每台果枝顶芽作为对照,品种科棉1号两处理分别用代号A、CK1表示;苏棉15分别用代号C、CK2表示,每处理重复10株,小区面积27 m²,移栽密度每公顷为2.7万株,其他栽培措施按常规要求进行。

叶源限制棉铃发育试验用小盆移栽,并减少棉花叶面积(盆钵上部内直径为32 cm,底部内直径为24 cm,高为28 cm)。设3个处理:①去3/4叶,将全株所有主茎叶、果枝叶沿主脉剪去一半但保留主脉,然后再沿垂直方向剪去约占叶的1/4。②去1/2叶,将全株所有主茎叶、果枝叶沿主脉剪去一半但保留主脉。③不剪叶为对照。科棉1号的3个处理代号分别用E(去3/4叶)、F(去1/2叶)、CK3表示;苏棉15分别以代号H(去3/4叶)、I(去1/2叶)、CK4表示,每处理重复5株。2年试验设计相同,2004年主要观测叶源调节对铃体积、铃重、铃叶可溶性糖和淀粉含量的影响;2005年进一步测定铃叶光合产物运输分配。

1.2 测定项目

每个处理于7月25日标记内围果节当日花,并

于花后10 d、20 d、30 d、40 d和50 d取标记棉铃及对位叶用于测定。

1.2.1 棉铃体积 应用排水法测定。

1.2.2 铃重 将籽棉晒干后称重。

1.2.3 叶片中可溶性糖、淀粉含量 应用硫酸-蒽酮比色法测定。

1.2.4 铃柄初皮部汁液中全氮和可溶性糖含量

分别标记两品种的各处理棉株第8或9台果枝第1果节当日花,于花后10 d和30 d收集铃柄中的初皮部汁液,测其全氮及可溶性糖含量^[14]。

1.2.5 ¹⁴C同化物的输入和输出率^[15] 同样标记两品种的各处理棉株的第8或9台果枝第1果节30日龄棉铃对位叶,选择晴天于上午9:00饲喂¹⁴CO₂ 30 min,并于饲喂后0 h、24 h取叶片、棉铃,105℃下杀青0.5 h后,于80℃下烘干。应用LS-9000型液体闪烁计数器测定¹⁴C放射强度。计算¹⁴C同化物的输入、输出率。

2 结果与分析

2.1 源库调节对铃体积、铃重的影响

减库调节棉铃发育处理显著提高了棉铃体积($F=8.24^*$)和铃重($F=6.76^*$)(图1-I)。科棉1号的铃体积(处理A)比对照(CK1)增大3.4 cm³,苏棉15的铃体积(处理C)比对照(CK2)增大3.5 cm³;处理A铃重比CK1提高0.47 g,处理C比CK2则增加0.42 g。虽对高品质棉铃体积、铃重的促进程度与常规棉相差不大,但铃体积和铃重的绝对值显著高于常规棉(图1-I)。

叶源限制棉铃发育处理显著地降低了棉铃体积($F=9.40^*$)和铃重($F=3.02^*$)(图1-II),科棉1号的处理E和处理F的铃体积分别比对照(CK3)减少3.1和1.7 cm³。苏棉15处理H和处理I的铃体积分别比对照(CK4)减少3.4和2.4 cm³。处理E和处理F的铃重分别比对照(CK3)降低0.763和0.08 g,处理H和处理I的铃重分别比对照(CK4)降低0.639和0.179 g。说明在叶源轻度胁迫时常规棉铃重受影响较大,而当叶源重度胁迫时,则高品质棉铃重受影响程度更大。

2.2 源库调节对棉铃对位叶可溶性糖含量的影响

由表1可见,减库促进棉铃发育处理与对照的棉铃对位叶中可溶性糖含量变化基本一致,呈先下降后升高趋势。2个品种的处理与各自对照相比,随铃龄增加,叶片中可溶性糖含量的差异在开花20

d 后呈逐渐增大的趋势,如花后 30 d 和 40 d 处理 A 分别比对照 CK1 增加 3.45 和 9.92 mg g⁻¹。处理 C

分别比对照 CK2 增加 0.86 和 4.5 mg g⁻¹。

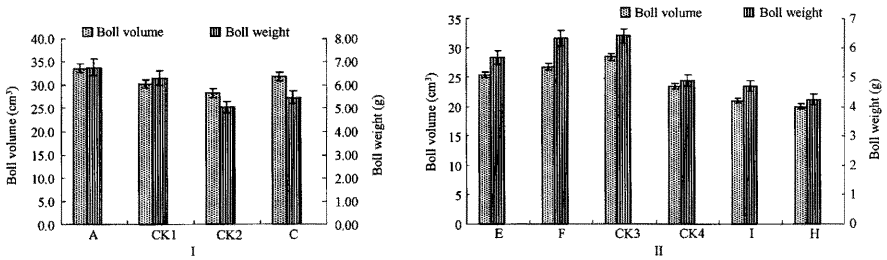


图 1 源库调节对棉铃体积和铃重的影响(2004 年)
Fig.1 Effect of source-sink regulation on boll volume and boll weight (2004)

叶源限制棉铃发育处理与对照的棉铃对位叶可溶性糖含量变化基本一致,基本上都呈下降的趋势。2 个品种的处理与各自对照相比,棉铃受限制程度越大,棉铃对位叶可溶性糖含量下降幅度越大,如花后 40 d,科棉 1 号的处理 E 和处理 F 比对照 CK3 分别下降 1.36 和 0.09 mg g⁻¹,而苏棉 15 的处理 H 和处理 I 比对照 CK4 分别下降 3.69 和 0.91 mg g⁻¹。

表 1 的结果还说明,无论是减库调节还是叶源限制调节,高品质棉棉铃对位叶可溶性糖含量保持较高的水平,这有利于为棉铃发育提供较多的糖分。

表 1 源库调节对棉铃对位叶可溶性糖含量的影响(2004 年)
Table 1 Effect of source-sink regulation on leaf soluble sugar content (2004) (mg g⁻¹)

处理 Treatment	花后天数 Days post anthesis			
	10 d	20 d	30 d	40 d
Treatment A	32.07 A	27.05 a	25.69 A	34.13 A
CK1	27.94 B	26.91 a	22.24 B	24.21 B
Treatment C	27.72 a	17.11 a	25.60 a	34.83 A
CK2	25.36 a	17.89 a	24.74 b	30.33 B
Treatment E	16.73 c	14.35 c	16.97 b	14.27 b
Treatment F	17.01 b	16.67 b	17.14 b	15.54 a
CK3	18.8 a	17.35 a	18.70 a	15.63 a
Treatment H	10.89 b	12.19 b	13.37 c	11.94 c
Treatment I	18.01 a	16.89 a	15.43 b	14.72 b
CK4	18.6 a	16.97 a	16.06 a	15.63 a

标以不同字母的数据差异显著,大、小写字母分别表示 0.01、0.05 显著水平。

Values followed by a different capital letter denote significant difference at 0.01 probability level and those by a small letter at the 0.05 probability level.

2.3 源库调节对棉铃对位叶淀粉含量的影响

表 2 表明,减库促进棉铃发育处理与对照的棉铃对位叶中淀粉含量变化基本一致,均先升高,至花

后 30 d 达最高值,后逐渐下降。两品种的处理与各自对照相比,其差异在开花 20 d 后呈逐渐增大的趋势,如花后 20 d 和 30 d 科棉 1 号处理 A 分别比对照 CK1 增加 0.15 和 3.13 mg g⁻¹,苏棉 15 处理 C 比对照 CK2 增加 6.01 和 12.84 mg g⁻¹。

表 2 源库调节对棉铃对位叶淀粉含量的影响(2004 年)
Table 2 Effect of source-sink regulation on the leaf starch content(2004) (mg g⁻¹)

处理 Treatment	花后天数 Days post anthesis			
	10 d	20 d	30 d	40 d
Treatment A	11.29 a	15.38 a	23.65 B	7.90 b
CK1	11.07 a	15.23 a	20.52 A	7.59 a
Treatment C	11.63 a	21.77 A	27.95 A	19.64 A
CK2	9.63 a	15.76 B	15.11 B	11.08 B
Treatment E	7.05 b	10.17 b	7.47 c	6.78 c
Treatment F	9.46 a	13.32 a	11.56 b	7.49 b
CK3	10.92 a	14.05 a	15.17 a	9.47 a
Treatment H	6.7 b	11.45 b	10.08 c	6.42 b
Treatment I	8.41 a	13.06 a	12.08 b	7.05 b
CK4	8.92 a	13.87 a	15.92 a	9.47 a

标以不同字母的数据差异显著,大、小写字母分别表示 0.01、0.05 显著水平。

Values followed by a different capital letter denote significant difference at 0.01 probability level and those by a small letter at the 0.05 probability level.

叶源限制棉铃发育处理与对照的棉铃对位叶淀粉含量变化也基本一致,先升高后逐渐下降趋势。棉铃受限制程度越大,棉铃对位叶可溶性糖含量下降幅度越大,花后 30 d,科棉 1 号处理 E 和处理 F 比对照 CK3 分别下降 7.7 和 3.61 mg g⁻¹,而苏棉 15 处理 H 和处理 I 比对照 CK4 分别下降 5.84 和 3.84 mg g⁻¹。

以上结果还说明,高品质棉在受到减库调节时

(处理 A), 棉铃对位叶淀粉含量增加幅度较小, 常规棉的增加幅度较大(处理 C)。叶源限制棉铃发育时, 高品质棉铃对位叶淀粉含量下降幅度大。这可能与高品质棉叶片糖转化能力强有关。

2.4 源库调节对棉铃对位叶¹⁴C 养分输出率和棉铃¹⁴C 养分输入率的影响

30 日龄为棉铃内部充实的关键时期, 叶片¹⁴C 光合产物在棉铃发育受限制时, 标记叶光合产物输出率减小, 但科棉 1 号和苏棉 15 叶源限制发育处理标记叶输出率相差不大, 都在 9% 左右。减库调节促进棉铃发育时, 标记叶光合产物输出显著上升, 且

科棉 1 号比苏棉 15 上升幅度高 10.8 个百分点(图 2-I)。说明高品质棉可能在铃库竞争减少时, 棉铃得到充分发育, 调动对位叶中光合产物的输出。

当棉铃发育受限制时, 科棉 1 号输入率下降程度小于苏棉 15(图 2-II)。与各自对照相比, 苏棉 15 下降 1.9%, 而科棉 1 号只下降 0.6%。但棉铃发育受促进时, 两品种棉铃光合产物输入率都大幅度提高。与各自对照相比, 苏棉 15 上升 10.1%, 而科棉 1 号上升 13.7%。说明减库调节促进棉铃发育有利于调节养分向棉铃运转, 而且对高品质棉更为有利。

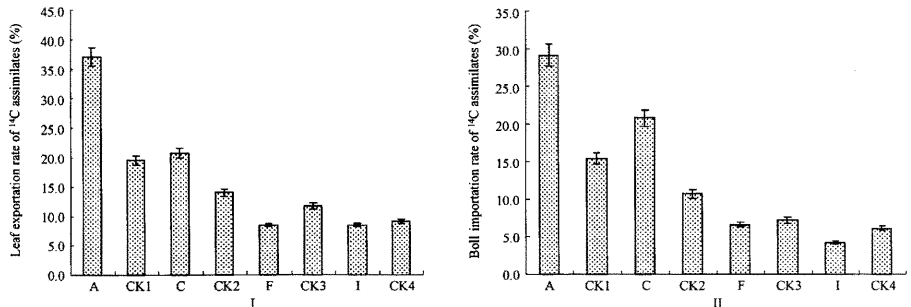


图2 源库调节对花后30 d标记24 h后铃叶¹⁴C同化物输出率和向棉铃输入率的影响(2005年)
Fig.2 Effect of source-sink regulation on the ¹⁴C assimilates exportation from leaf and the importation to boll 24 h after labeled isotopes at 30 DPA (2005)

2.5 源库调节对铃柄韧皮部汁液中的全氮、可溶性糖含量影响

两品种减库促进棉铃发育处理花后 10 d 和 30 d 铃柄韧皮部汁液的全氮含量均高于对照, 花后 10 d 和 30 d, 科棉 1 号处理 A 分别比对照 CK1 增加 10.00 和 14.50 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$, 苏棉 15 处理 C 分别比对照 CK2 增加 6.96 和 3.92 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$ (图 3-I)。说明棉铃发育受促进时, 有利于调动氮营养输入棉铃。

2 个品种叶源限制棉铃发育处理花后 10 d 和 30 d 铃柄韧皮部汁液的全氮含量均低于对照, 尤其以花后 30 d 更为明显。花后 30 d 苏棉 15 的处理 I 比对照 CK4 下降 1.28 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$, 科棉 1 号的处理 F 比对照 CK3 下降 6.69 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$ (图 3-II)。说明棉铃发育受限制时, 也限制了氮营养输入棉铃。

2 个品种相比, 叶源限制发育条件下, 科棉 1 号铃柄韧皮部汁液中全氮含量下降幅度比苏棉 15 大

($F = 7.12^*$), 花后 30 d, 对照 CK3 与处理 F 相比, 由 32.17 降至 25.48 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$, 而苏棉 15 对照 CK4 与处理 I 相比, 含量由 30.74 降至 29.36 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$; 在减库促进发育条件下, 高品质棉铃柄韧皮部汁液中全氮含量增长幅度显著高于常规棉 ($F = 8.92^*$)。花后 30 d, 科棉 1 号对照 CK1 与处理 A 相比, 由 42.34 增至 56.84 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$, 而苏棉 15 对照 CK2 与处理 C 相比, 由 41.16 增至 45.08 $\mu\text{g mL}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。以上结果说明高品质棉在棉铃性状受限制时, 向棉铃中输送的全氮下降快, 不利于棉籽发育。受促进时, 向棉铃中输送的全氮增加快, 有利棉籽发育。

图 4 表明, 2 个品种的棉铃发育受减库促进调节时, 铃柄韧皮部汁液中可溶性糖含量提高; 棉铃发育受叶源限制调节时, 可溶性糖含量下降, 并且以花后 30 d 处理与对照的差值更大。进一步说明棉铃发育受到促进时有利于调动糖分进入棉铃, 反之, 则不利于调动糖分的输入。

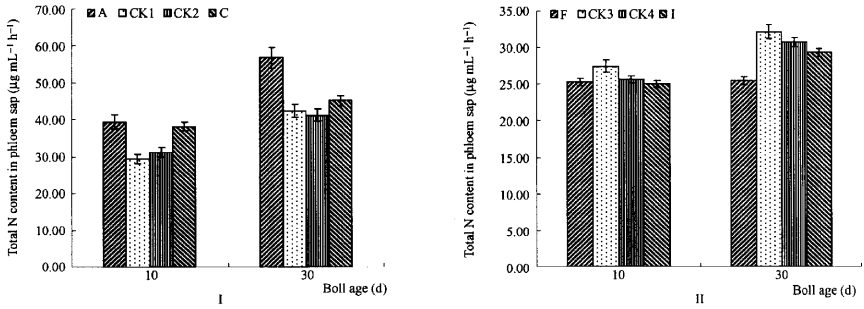


图 3 源库调节对不同时期铃部汁液中全氮含量的影响(2005年)
Fig.3 Effect of source-sink regulation on total N content in phloem sap at different stages (2005)

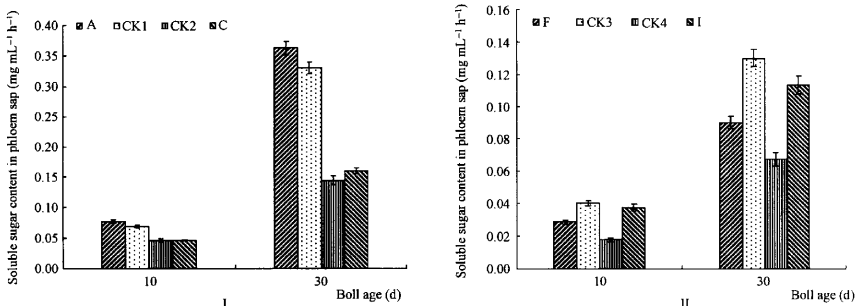


图 4 源库调节对不同时期铃部汁液中可溶性糖含量的影响(2005年)
Fig.4 Effect of source-sink regulation on soluble sugar content in phloem sap at different stages (2005)

两品种相比,叶源限制调节下,高品质棉在花后 30 d 铃柄韧皮部汁液中可溶性糖含量下降幅度小于常规棉,在减库调节下,高品质棉铃柄韧皮部汁液中可溶性糖含量增长幅度高于常规棉,且绝对含量是常规棉 2 倍以上。如花后 30 d,科棉 1 号对照 CK1 与处理 A 相比,由 0.33 增至 $0.36 \text{ mg mL}^{-1} \text{ h}^{-1}$,而苏棉 15 对照 CK2 与处理 C 相比,由 0.14 增至 $0.16 \text{ mg mL}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 。以上结果说明高品质棉在棉铃性状形成受限制时,向棉铃中运输的可溶性糖下降;受促进时,向棉铃中输送的可溶性糖增加快,这有利于铃的发育。

3 讨论

3.1 足源适库有利于棉铃对位叶光合产物向棉铃运输分配

棉铃是棉花产量的基本单位,其发育的好坏与产量直接相关,因此国内外学者围绕如何促进棉铃

的发育进行了较多研究,陈德华等发现通过氮钾肥和 DPC 的合理运筹可以提高中上部棉铃铃重和纤维品质^[16]。陈源等则表明苏抗 103 通过氮肥和缩节胺的协调应用,可促进中上部铃和外围铃的发育,尤其对花后 14 d 以后的棉铃发育促进较明显^[17]。陈德华、何钟佩等还发现当棉叶 RuBPase 和蔗糖转化酶活性提高时,有利于光合增强和光合产物输出,促进棉株各器官对氮、磷、钾的吸收,特别是棉铃对氮、磷、钾的吸收显著增加;叶片¹⁴C 光合产物输出增加,向棉铃中养分输入增多,从而促进铃重的提高和产量增加^[18]。但叶源调节对光合产物运输分配方面则少见研究。本研究说明棉花源库关系发生变化后,叶片的光合生产能力、输出量和输出速度、有机养分向棉铃中的分配数量都产生相应的变化。因此协调棉花生育过程中的源库关系,特别是花铃期保持充足源和适当的库大小,形成有利于促进棉铃发育的源库群体,对提高铃体积和铃重是很重要的。

3.2 源库调节对不同基因型品种的棉铃发育及其片叶光合产物运输分配影响程度不同

高品质棉品种科棉1号与常规棉品种苏棉15相比,受源库调节后棉铃发育的程度上表现不同,显然与其基因型不同有关。高品质棉可能由于其具有大铃的遗传基础,因而在受到限制发育影响时,铃体积和铃重所受的限制也相对较轻。2个类型品种铃叶光合产物运输分配也存在基因型差异,当源库调节使棉铃发育发生变化时,光合产物的输出率、运输速度率和分配率也发生相应的变化,高品质棉的减库调节更有利于光合产物的输出和向棉铃的运转,因此在生产上,高品质棉应形成适当的库,有利于养分分配的协调,促进棉铃发育。

4 结论

4.1 本研究通过技术手段形成的减库和减源处理,表明在减库调节时,高品质棉与常规棉棉铃体积、铃重受促进程度相差不大,但高品质棉棉铃体积、铃重的绝对值显著高于常规棉。在减源调节时,常规棉棉铃体积和铃重受影响较大。

4.2 在减库调节时,棉铃对位叶中可溶性糖、淀粉的含量均增加,叶片中的光合产物向铃库中输出量增多,有机养分运转数量增加;在减源调节时,叶片可溶性糖和淀粉含量减少,光合产物输出量减少,向棉铃中有机养分输入减少。

4.3 在减库处理时,高品质棉叶片¹⁴C光合产物输出率比常规棉增加10.8%,棉铃¹⁴C光合产物输入率增加3.6%。铃柄韧皮部汁液中全氮、可溶性糖含量增加;在减源处理时,高品质棉叶片光合产物输出量和向棉铃输入量下降程度低,铃柄韧皮部汁液中可溶性糖含量下降幅度也小于常规棉。说明品种类型不同,受源库调节后铃叶光合产物的运输分配所受影响程度也不同。

References

[1] Tian X-L(田晓莉), Yang P-Z(杨培株), Duan L-S(段留生). Preliminary study on the source-sink relationship of Bt transgenic cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 1999, 11(3): 151-156 (in Chinese with English abstract)

- English abstract)
- [2] Evans L T. *Crop Physiology*. New York: Cambridge Univ Press, 1975
- [3] Guin G, Brummett D L. Influence of defruiting on the abscisic acid and indole-3-acetic acid contents of cotton leaves. *Field Crops Res*, 1992, 28: 257-262
- [4] Khafoja E R. Correlation between bud sprouting and the levels of endogenous hormones on cotton plants (*Gossypium L. spp.*). *Angewandte Botanik*, 1983, 37(1/2): 1-8
- [5] Peoples T R, Matthews M A. Influence of boll removal on assimilate partitioning in cotton. *Crop Sci*, 1981, 21(2): 283-286
- [6] Duan Z-Y(段震宇). Distribution characteristics of source storehouse of population cotton with different canopies. *Xinjiang Agric Sci* (新疆农业科学), 2006, 43(2): 118-120 (in Chinese)
- [7] Beneditt C R, Kohel R J. Export of ¹⁴C assimilates in cotton leaves. *Crop Sci*, 1975, 15: 367-372
- [8] Ji C-L(纪从亮), Yu J-Z(俞敬忠), Liu Y-L(刘友良), Wu Y-K(吴云康). Study on source-sink characteristics of high-yielding cotton varieties. *Cotton Sci* (棉花学报), 2000, 12(6): 298-301 (in Chinese with English abstract)
- [9] Bhardwaj N. Physiology parameters for higher productivity in upland cotton. *Indian J Agric Sci*, 45(3): 124-127
- [10] Xie Z-X(谢志霞), Li C-D(李存东), Wang W-X(王文新). Study on characteristics of source-sink at different spatial positions of five cotton cultivars with different boll weight. *J Agric Univ Hebei* (河北农业大学学报), 2005, 1(1): 1-4 (in Chinese with English abstract)
- [11] Xu L-H(徐立华), Li G-F(李国锋), He X-H(何循宏), Yang D-Y(杨德银). Boll developmental characteristic of "Kemian 2" with high quality. *Jiangsu J Agric Sci* (江苏农业学报), 2003, 19(4): 218-222 (in Chinese with English abstract)
- [12] Xu L-H(徐立华), Li G-F(李国锋), He X-H(何循宏), Yang D-Y(杨德银). Characteristics of Source and Sink of "Kemian 1" with High Quality. *China Cotton* (中国棉花), 2003, 30(11): 14-16 (in Chinese)
- [13] Wise R R, Sassenrath-Cole G F, Percy R G. A comparison of leaf anatomy in field-grown *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense*. *Ann Bot*, 2000, 86: 731-738
- [14] Tian X-L(田晓莉). Studies on Yield Components and Source-Sink Relation of Bt-transgenic Cotton (*Gossypium hirsutum L.*). PhD Dissertation of China Agricultural University, 1999, 54 (in Chinese)
- [15] Wang F-J(王福钧). Isotopic Tracer Method in Agronomy (农学中同位素示踪技术). Beijing: Agricultural Press, 1989. pp 220-230 (in Chinese)
- [16] Chen D-H(陈德华), Zhou G-S(周桂生), Chen Y(陈源). Study of cotton bous add weight ways of high production cotton lint. *Jiangxi Cottons* (江西棉花), 2001, 6(3): 18-21 (in Chinese with English abstract)
- [17] Chen Y(陈源), Cheng G-M(成广明). Study of cotton bous add ways of Bt cotton Shukang 15. *Jiangshu Agric Sci* (江苏农业科学), 2002, (2): 24-26 (in Chinese)
- [18] Chen D-H(陈德华), Chen Y(陈源), Yang C-Q(杨长琴), Wu Y-K(吴云康). The effects on the boll weight and the source-sink characteristics in the coordination of nitrogen fertilizer and DPC in Bt cotton. *Cotton Sci* (棉花学报), 2002, 14(3): 147-150 (in Chinese with English abstract)