

播期对棉铃对位叶蔗糖代谢及棉铃产量性状、纤维品质的影响

陈功¹, 彭金剑¹, 罗海华¹, 高欣¹, 袁长凯¹, 殷梦瑶¹, 向春玲¹, 王培培¹, 涂青华², 汤飞宇^{1*}

(1. 江西农业大学农学院 / 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室, 南昌 330045;

2. 江西省农业综合行政执法总队, 南昌 330046)

摘要:【目的】探讨棉铃对位叶蔗糖代谢机制及棉铃产量性状、纤维品质对不同播期条件的响应。【方法】以棉铃产量性状具有明显差异的两个陆地棉品系 A705 和 A201 为供试材料, 于 2016—2017 年进行大田试验研究, 在不同播期(早播 2016 年 4 月 12 日, 2017 年 4 月 15 日; 晚播 2016 年 5 月 6 日, 2017 年 5 月 28 日)条件下, 研究棉铃对位叶非结构性碳水化合物(蔗糖、己糖、淀粉)和蔗糖代谢关键酶(液泡酸性转化酶、细胞壁酸性转化酶、蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶)的动态变化及差异, 及不同播期对棉铃产量性状和纤维品质的影响。【结果】晚播棉铃铃期更长, 铃重、单铃种子质量、籽指和纤维上半部平均长度增加, 衣分和马克隆值降低。晚播导致棉铃对位叶细胞壁酸性转化酶和蔗糖合成酶活性降低, 蔗糖浓度升高, 可能为棉铃的发育提供了更充足的碳源。【结论】晚播相对低温条件下, 棉铃发育更完全, 在生产上适当晚播可以提高纤维品质。

关键词: 播期; 棉铃对位叶; 蔗糖代谢; 产量性状; 纤维品质

Effects of Planting Date on Sucrose Metabolism in the Leaf Subtending to Cotton Boll, Within-boll Yield Components and Fiber Quality

Chen Gong¹, Peng Jinjian¹, Luo Haihua¹, Gao Xin¹, Yuan Changkai¹, Yin Mengyao¹, Xiang Chunling¹, Wang Peipei¹, Tu Qinghua², Tang Feiyu^{1*}

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, College of Agronomy, Ministry of Education, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Law Enforcing Department for Integrative Agriculture, Nanchang 330046, China)

Abstract: [Objective] The present study aimed to investigate how sucrose metabolism in the leaf subtending to cotton boll, within-boll yield components and fiber quality respond to varying planting dates. [Method] Two upland cotton lines A705 and A201 differing in cotton boll traits were field tested in 2016-2017. Two different planting dates were designed with early planting on April 12, 2016, and April 15, 2017, and late planting on May 6, 2016, and May 28, 2017, respectively. Dynamics of non-structural carbohydrates (sucrose, hexose, starch) and key sucrose metabolism enzymes in the leaf subtending to cotton boll were examined including vacuolar acid invertase, cell wall acid invertase, sucrose phosphate synthase and sucrose synthase. The differences between two planting dates were compared for within-boll yield components, fiber quality and sucrose metabolism related characteristics. [Result] Late planting lengthened the period of cotton boll maturation relative to early planting. Boll weight, seed mass per boll, seed index and fiber length were increased, and lint percentage and micronaire were decreased. Late planting reduced the activities of cell wall acid invertase and sucrose synthase responsible for sucrose degradation, and in turn led to the increment of sucrose concentration in the subtending leaves which might enhance the carbon supply to the opposite bolls. [Conclusion] Lower temperature due to late planting could contribute to the more full development of cotton bolls. Late planting is an alternative consideration in improvement of fiber quality in cotton cultural practices.

Keywords: planting date; leaf subtending to cotton boll; sucrose metabolism; yield components; fiber quality

收稿日期: 2019-07-03 第一作者简介: 陈功 (1995—), 男, 硕士研究生, 1337652812@qq.com. * 通信作者: fytangcau@163.com

基金项目: 国家自然科学基金 (31560364)

江西省鄱阳湖植棉区通常于4月上中旬播种。由于此时该地区经常出现潮湿、寒冷的天气,不利于种子发芽和幼苗早期的生长发育,因此在棉花栽培中通常采取育苗移栽的方法为其出苗和早期幼苗生长提供较为适宜的微环境。随着城镇化的发展和农村劳动力的转移,棉农迫切希望采用轻简化的种植技术,从传统精耕细作下的育苗移栽过渡到机械化直播,必然导致播种期的推迟;此外,南方多熟制棉田耕作制度的改革,如油(麦)后棉的推广也必然导致播种期的推迟^[1]。播种期的不同会引起棉铃生长中环境因子的变化,其中温度是对棉铃发育影响最为关键的环境因子^[2]。由于棉铃对位叶是棉铃生长发育所需碳同化物的主要来源^[3],棉铃发育的质量直接影响到铃重、衣分等产量因素及纤维品质的形成。蔗糖代谢调控棉铃及其对位叶碳水化合物的合成、分配与转运,从而影响棉铃产量性状及纤维品质的形成^[4-6]。因此研究播期对棉铃对位叶蔗糖代谢的影响,对于提高棉花产量和品质有重要意义。

蔗糖和淀粉均是棉铃对位叶光合作用的主要产物,其中蔗糖是碳水化合物长距离运输的主要形式,淀粉是碳水化合物贮藏的主要形式^[7]。蔗糖代谢关键酶主要包括液泡酸性转化酶(Vacuolar acid invertase, VIN)、细胞壁酸性转化酶(Cell wall acid invertase, CWIN)、蔗糖磷酸合成酶(Sucrose phosphate synthase, SPS)和蔗糖合成酶(Sucrose synthase, SS)。液泡酸性转化酶(VIN)和细胞壁酸性转化酶(CWIN)催化蔗糖不可逆分解为葡萄糖和果糖,分别位于细胞液泡内及细胞壁质外体空间,催化作用适宜的pH为3.5~5.5, VIN为可溶性酶, CWIN为不可溶性,以离子键结合于细胞壁^[8];蔗糖磷酸合成酶(SPS)催化尿苷二磷酸葡萄糖(Uridine diphosphate glucose, UDPG)和6-磷酸果糖合成蔗糖^[9];蔗糖合成酶(SS)催化蔗糖可逆分解为尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG)和果糖^[8]。蔗糖代谢关键酶影响棉花叶片中碳水化合物的种类、含量及比例^[8-9],也影响到碳水化合物的外运水平^[10]。蔗糖代谢关键酶的活性受低温的影响,但在不同器官中对低温的响应不同。叶片SPS和SS在低温条件下活性下降^[6]。纤维SS、酸性转化酶和碱性转化酶在低

温条件下活性上升,但SPS活性下降^[11-12]。目前对于棉铃对位叶中VIN和CWIN酶活性的研究鲜见报道。同时,由于低温处理方式以及试验材料的不同,研究结果存在差异,对于棉铃对位叶蔗糖代谢对低温的响应机制尚不明确。本文以不同播种期创造棉铃发育期间的温度差异,研究其对棉铃产量性状具有明显差异的2个品系棉铃对位叶蔗糖代谢的影响,以及对棉铃产量性状及纤维品质的调节作用,为棉花生产上适宜播种期的安排提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设计

试验材料为江西农业大学棉花课题组自育的陆地棉高品质系A201和A705,长期自交保纯,遗传性状稳定。其中A201为低衣分、高籽指类型,A705为高衣分、低籽指类型。试验于2016—2017年在江西农业大学农业科技园进行,供试土壤为红壤旱地,呈微酸性(pH 6.0)。前茬空闲,地力均匀,肥力中上,排灌方便,四周无高大建筑物和树木。田间试验采用随机区组排列,设3次重复,4行区,行长7.7 m,行距1.0 m,株距0.3 m,小区面积30.8 m²,四周设保护行。早播实为正常播种时间,采用营养钵育苗移栽;晚播采用大田直播。早播2016年4月12日播种,5月14日移栽,2017年4月15日播种,5月14日移栽;晚播分别于2016年5月6日和2017年5月28日播种。2年施肥量相同,全生育期施纯N:276 kg·hm⁻²、P₂O₅:105 kg·hm⁻²、K₂O:247.5 kg·hm⁻²。磷肥和钾肥作基肥和花铃肥分2次施用,比例为1:1;氮肥作基肥、花铃肥和盖顶肥分3次施用,比例为1:2:1。全生育期未进行化控,不整枝,于8月中旬根据长势进行打顶。苗期和蕾期各中耕除草1次,花铃期根据天气情况灌溉1~2次,根据田间需要进行病虫害和杂草控制。2年大田管理情况基本一致。

开花结铃期挂牌标记植株中部果枝(7~9果枝)、内围果节当日白花,分别取5 DPA(开花后时间, Days post anthesis)、10 DPA、17 DPA、24 DPA、31 DPA、38 DPA、45 DPA共7个时期的发育正常且无病虫害为害的棉铃及其对位叶。棉铃对位叶

分成两部分:一部分作鲜样液氮速冻后及时保存于一80℃的超低温冰箱中,用于测定蔗糖代谢关键酶:液泡转化酶(VIN)、细胞壁转化酶(CWIN)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶(SS)的活性;一部分经105℃杀青30 min后于60℃下烘干至恒重,烘干后的叶片用微型植物粉碎机磨碎并过32目筛网,用于己糖(葡萄糖、果糖)、蔗糖和淀粉浓度的测定。

1.2 测定内容与方法

蔗糖、果糖、葡萄糖和淀粉的测定。可溶性碳水化合物提取:用万分之一电子天平称叶片干样50 mg,加入80%乙醇溶液3 mL(叶片材料先加入10 mg活性炭粉末,用于去除色素)。于混匀器混匀后,在80℃的水浴锅中提取30 min,取出后冷却至室温。置4 000 r·min⁻¹离心机中离心10 min,转移上清液,剩余的残渣再次加入80%乙醇溶液3 mL,重复提取残渣2次,合并3次提取的上清液并用80%乙醇溶液定容至10 mL,用于葡萄糖、果糖、蔗糖浓度的测定。

淀粉的提取。将上述用乙醇溶液提取后的残渣,放在60℃烘箱内烘至恒重。加入2 mL的蒸馏水,混匀器混匀,放入沸水中糊化15 min,冷却至室温。加入9.2 mol·L⁻¹高氯酸2 mL,于震荡仪震荡15 min,然后加4 mL的蒸馏水,4 000 r·min⁻¹下离心10 min,将上清液转移至50 mL的容量瓶中。残渣再加入4.6 mol·L⁻¹的高氯酸2 mL,震荡15 min,加蒸馏水5 mL,混匀后在4 000 r·min⁻¹下离心10 min,合并上清液。用5 mL的蒸馏水洗涤残渣1次,离心10 min,合并上清液,最后用蒸馏水定容至50 mL,用于淀粉浓度的测定。葡萄糖浓度的测定采用酶比色法^[13],蔗糖、果糖浓度的测定采用间苯二酚法^[14],淀粉浓度的测定采用蒽酮法^[14]。

VIN、CWIN、SPS、SS的提取和测定。提取液的配制。VIN、SPS和SS提取液(pH 7.5)的组分包括:50 mmol·L⁻¹ Hepes-NaOH,2 mmol·L⁻¹ Na₂-EDTA,2.5 mmol·L⁻¹ DTT,10 mmol·L⁻¹ Mg-Cl₂,0.05% Triton X-100 (V/V),1%(W/V)难溶性PVP,10%甘油(V/V),0.3%β-巯基乙醇。CWIN的提取液另外再加入0.8 mol·L⁻¹ NaCl(终浓度)即可。

粗酶液的提取。称取0.4 g鲜样放入预冷的研钵中,加入1 mL提取液(预冷)和适量石英砂

进行充分研磨,转移至10 mL PE离心管,再加入1 mL提取液清洗研钵1次,合并混匀。冰浴条件下提取30 min,每隔5 min涡旋混匀1次,以保证抽提完全。4℃4 500 r·min⁻¹离心机中离心20 min,将上清液置4℃冰箱中待测。剩余沉淀加入2 mL CWIN的提取液,提取步骤同上。SS和SPS酶活性采用UDPG和果糖比色法^[14];VIN和CWIN酶活性测定参照Wang等的DNS比色法^[15]。

产量性状及纤维品质的考察与检测。棉铃成熟吐絮时,分别采摘每个小区棉株挂牌标记的剩余棉铃(无僵瓣花)30个,晒干后称取铃重,经小型皮辊轧花机轧花后测定其纤维重、种子重,从而计算衣分和籽指等产量性状。各小区取20 g纤维送原农业部棉花纤维品质监督检验测试中心HVI900系列测定,检测指标包括纤维上半部平均长度(mm)、整齐度(%)、马克隆值、伸长率(%)、断裂比强度(cN·tex⁻¹)共5个指标。

1.3 气象数据

气象数据来自国家气象中心南昌气象观测站(28°6' N,115°91' E),该站靠近试验地点(28°09' N,115°27' E)。表1列出了试验期间棉铃开花至吐絮期间日平均温度(MDT),日均最高温度(MDTmax),日均最低温度(MDTmin)、日均昼夜温差(MDTdif)和棉铃发育期间的总降水量。

1.4 数据分析

以小区为单位统计处理平均数,采用SPSS20.0统计分析软件包的一般线性模型(GLM)对实验数据进行方差分析,独立样本t测验分离处理平均数。按基因型和年份对不同取样时期的碳水化合物浓度和蔗糖代谢酶活性取平均值,采用配对样本t测验比较早晚播期的差异。采用Origin8.5作图。

2 结果与分析

2.1 早晚播棉铃发育的时长与温度差异

2年晚播播种时间的差异是由于2016年早晚播棉铃开花期相近,为创造铃期温度更大的差异,故进一步推迟2017年晚播的播种日期。2年晚播铃期均长于早播,2016年晚播铃期(棉铃开花至吐絮)延长3 d,2017年延长8 d;晚播铃期日平均温度、日均最高温度、日均最低温度、平均昼夜温差均低于早播(表1)。

表 1 2016–2017 年棉铃开花到吐絮期日均温度、日均最高温度、日均最低温度、日均昼夜温差和总降水量
Table 1 Mean daily temperature, mean daily maximum temperature, mean daily minimum temperature, mean diurnal temperature difference, and total precipitation during flowering to boll opening in 2016 and 2017

年份 Year	播种日期 Planting date	开花期 Flowering date	吐絮期 Boll opening date	铃期 Boll development period /d	日均 温度 MDT /°C	日均最高 温度 MDT _{max} /°C	日均最低 温度 MDT _{min} /°C	平均昼夜 温差 MDT _{dif} /°C	总降水量 Total precipitation /mm
2016	04-12	08-16	10-07	52	26.8	30.0	24.3	5.7	63.4
	05-06	08-22	10-10	55	25.2	28.2	22.7	5.5	63.3
2017	04-15	08-08	09-27	50	28.3	31.7	25.5	6.2	92.1
	05-28	09-03	11-01	58	23.1	26.2	20.5	5.7	32.7

注 :MDT:Mean daily temperature;MDT_{max}:Mean daily maximum temperature;MDT_{min}:Mean daily minimum temperature;MDT_{dif}:Mean diurnal temperature difference.

表 2 播期对铃重、衣分和棉铃产量性状的影响
Table 2 Effects of planting dates on boll size, lint percentage and within-boll yield components

年份 Year	基因型 Genotype	播期 Planting date	铃重 Boll size /g	衣分 Lint percentage /%	单铃种子质量 Seed mass per boll /g	单铃纤维质量 Lint mass per boll /g	籽指 Seed index /g	衣指 Lint index /g
2016	A705	早播 Early planting	3.77 b	40.36 a	2.26 b	1.53 a	10.50 a	7.11 a
		晚播 Late planting	4.18 a	39.84 a	2.52 a	1.66 a	11.08 a	7.34 a
	A201	早播 Early planting	4.16 b	31.75 a	2.84 b	1.32 b	13.73 b	6.39 a
		晚播 Late planting	4.58 a	30.16 b	3.20 a	1.38 a	14.40 a	6.22 a
	A705	早播 Early planting	4.30 a	43.10 a	2.45 a	1.85 a	10.19 a	7.67 a
		晚播 Late planting	4.78 a	42.96 a	2.73 a	2.05 a	10.20 a	7.68 a
2017	A201	早播 Early planting	4.63 b	37.28 a	2.90 b	1.72 a	11.7 1b	6.96 a
		晚播 Late planting	5.12 a	33.85 b	3.39 a	1.73 a	12.88 a	6.59 a

注:表中数据均为同一年份同一品系间比较,同列数值后字母不同表示在 0.05 水平上差异显著。
Note: The comparisons of two planting dates were made for respective lines within the same year. Values within the same column with different letters are significant differences at the 0.05 level.

2.2 播期对棉铃铃内产量性状的影响

由表 2 可知, 2016 年和 2017 年 A201, 及 2016 年 A705 晚播的铃重、单铃种子质量均显著高于早播; 2 年试验 A201 晚播的籽指均显著高于早播; 2016 年 A201 的单铃纤维质量表现为晚播显著大于早播; 2 年试验 A201 的衣分表现为晚播显著低于早播。以上结果表明晚播相对低温条件下棉铃发育好于早播。

2.3 播期对棉铃纤维品质的影响

由表 3 可知, 2 年试验中晚播纤维上半部平均长度高于早播, 其中 2 年 A705 和 2016 年 A201 均达到显著水平; 晚播纤维整齐度指数、伸长率和断裂比强度略高于早播, 但差异均不显著; 马克隆值早播高于晚播, 2017 年 2 品系均表现显著差异。表明晚播纤维品质略好于早播。

表 3 播期对纤维品质的影响

Table 3 Effects of planting dates on fiber quality parameters

年份 Year	基因型 Genotype	播期类型 Planting period types	上半部平均长度 Upper half mean fiber length /mm	整齐度指数 Unity index /%	马克隆值 Micron- aire	伸长率 Elongation at break /%	断裂比强度 Breaking tenacity /(cN·tex ⁻¹)
2016	A705	早播 Early planting	30.17 b	84.77 a	5.15 a	6.90 a	32.20 a
		晚播 Late planting	31.53 a	85.47 a	5.25 a	7.05 a	33.77 a
	A201	早播 Early planting	31.13 b	84.30 a	4.63 a	6.85 a	35.17 a
		晚播 Late planting	32.30 a	85.05 a	4.55 a	6.93 a	35.35 a
	A705	早播 Early planting	29.50 b	83.73 a	5.42 a	6.80 a	30.97 a
		晚播 Late planting	31.95 a	84.25 a	5.08 b	6.87 a	32.08 a
2017	A201	早播 Early planting	30.87 a	84.55 a	5.15 a	6.80 a	32.53 a
		晚播 Late planting	32.08 a	85.03 a	4.68 b	6.83 a	35.23 a

注: 表中数据均为同一年份同一品系间比较, 同列数值后字母不同表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The comparisons of two planting dates were made for respective lines within the same year. Values within the same column with different letters are significant differences at the 0.05 level.

2.4 播期对棉铃对位叶碳水化合物浓度的影响

棉铃对位叶蔗糖水平整体趋势变化平缓, 除 2017 年开花后 5 d 外, 2 年间 A705 和 A201 棉铃对位叶蔗糖浓度晚播均高于早播 (图 1a)。2016 年晚播棉铃对位叶己糖浓度各时期均表现高于早播, 2017 年早晚播的差异因取样时期而异, 开

花后 5~10 d, 早播己糖浓度大于晚播; 开花后 45 d, 晚播高于早播 (图 1b)。A201 除 2016 年 24 DPA 和 2017 年 10 DPA 外, 其他各取样时期淀粉浓度均表现为早播高于晚播, 2017 年 A705 除 10 DPA 外, 其他各时期淀粉浓度均表现早播高于晚播 (图 1c)。

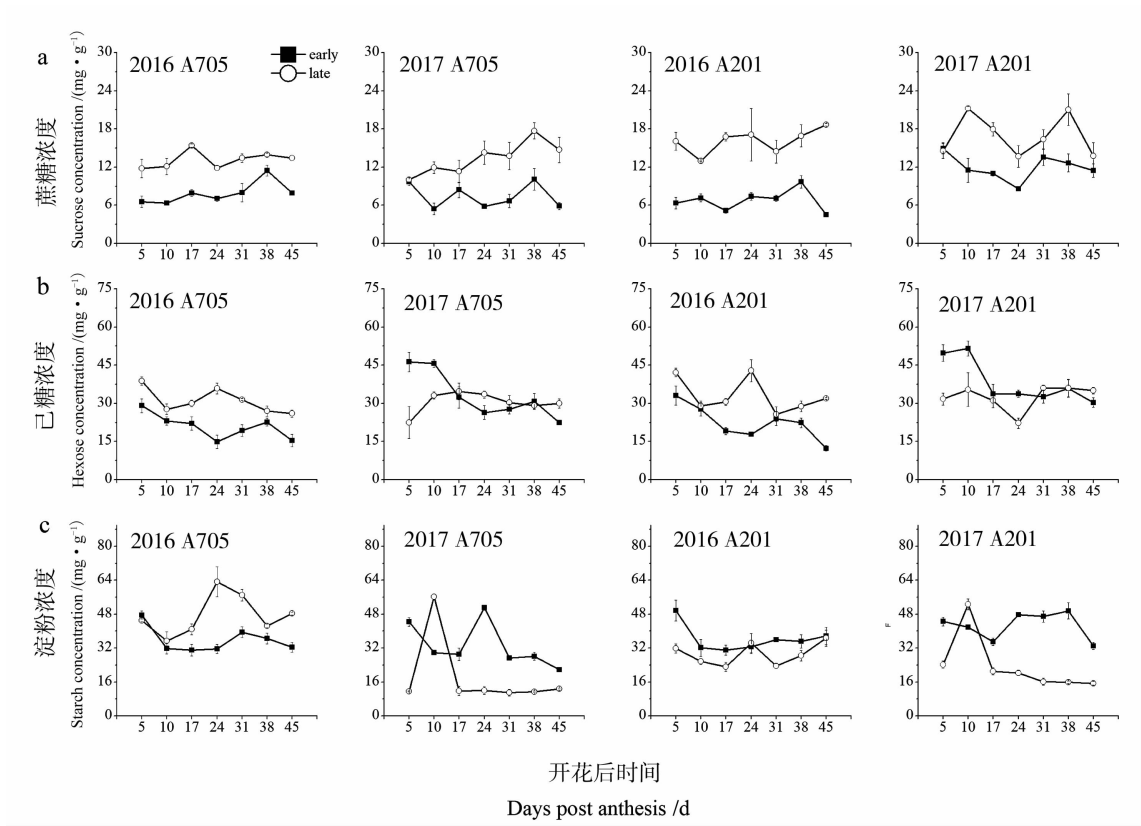


图 1 不同播期条件下棉铃对位叶碳水化合物浓度的变化

Fig. 1 Dynamics of carbohydrate components concentration in boll-subtending leaf at two planting dates

表 4 播期对棉铃对位叶己糖、蔗糖和淀粉的平均值和最大值的影响(2016—2017)

Table 4 Effects of planting date on the mean, maximum contents of hexose, sucrose and starch in the leaf subtending to cotton boll(2016–2017)

年份 Year	基因型 Genotype	播期 Planting date	己糖 Hexose /(mg·g ⁻¹)		蔗糖 Sucrose /(mg·g ⁻¹)		淀粉 Starch /(mg·g ⁻¹)	
			平均值 mean		平均值 mean		平均值 mean	
			最大值 maximum		最大值 maximum		最大值 maximum	
			平均值 mean	最大值 maximum	平均值 mean	最大值 maximum	平均值 mean	最大值 maximum
2016	A705	早播 Early planting	20.95 b	29.09 b	7.91 b	11.47 b	35.78 b	47.59 a
		晚播 Late planting	30.97 a	38.78 a	13.13 a	15.39 a	47.49 a	63.28 a
	A201	早播 Early planting	22.35 b	33.07 a	6.77 b	9.70 b	36.35 a	49.69 a
		晚播 Late planting	33.00 a	42.89 a	16.13 a	18.66 a	29.12 b	36.67 a
2017	A705	早播 Early planting	33.10 a	46.27 a	7.44 b	10.10 b	33.10 a	51.09 b
		晚播 Late planting	30.49 a	34.76 a	13.39 a	17.71 a	18.09 a	56.17 a
	A201	早播 Early planting	38.25 a	51.62 a	11.97 b	14.96 b	42.69 a	49.59 a
		晚播 Late planting	32.51 a	36.10 b	16.93 a	21.21 a	23.66 b	52.66 a

注:表中数据均为同一年份同一品系间比较,同列数值后字母不同表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The comparisons of two planting dates were made for respective lines within the same year. Values within the same column with different letters are significant differences at the 0.05 level.

由表 4 可知,2 年 A705 和 A201 棉铃对位叶各取样时期的蔗糖平均浓度及最大值晚播均显著高于早播。2016 年 A705 和 A201 棉铃对位叶各取样时期的己糖平均浓度表现为晚播显著高于早播;2017 年 A201 己糖浓度最大值表现为早播显著高于晚播。不同播期棉铃对位叶的淀粉平均浓度和最大值的差异因基因型和年份而异。综上所述,表明晚播相对低温条件下,棉铃对位叶蔗糖浓度高于早播(图 1a,表 4)。

2.5 播期对棉铃对位叶蔗糖代谢关键酶活性的影响

2 年棉铃对位叶 VIN 酶活性表现为随开花后天数增加基本呈下降趋势(图 2a),各取样时期的酶活性平均值除 2016 年 A201 外(差异不显著),均表现为早播高于晚播,其中 2016 年 A705 和 2017 年 A201 均达到显著水平。VIN 酶活性峰值均表现为早播高于晚播,2017 年 A705 和 A201 达到显著水平(表 5)。2 年棉铃对位叶 CWIN 酶活性除 2017 年 A201 的 24 DPA 和 45

DPA 外,其他各时期均表现为早播棉铃对位叶的 CWIN 酶活性高于晚播(图 2b),酶活性平均值 2 年均表现为早播显著高于晚播,且酶活性峰值也表现为早播高于晚播,除 2017 年 A201 外均达到显著(表 5)。2 年未发现 2 个品系的 SPS 酶活性对早晚播的响应具有一致性(图 3a,表 5)。SS 酶活性 2016 年 2 品系除 A201 的 45 DPA 外,各时期早播均高于晚播。2017 年 A705 除 31DPA 和 45 DPA 外,各时期均表现早播高于晚播,2017 年 A201 在棉铃对位叶生长初期(5 DPA)和后期(31~45 DPA)均表现早播高于晚播(图 3b)。2016 年 A705 和 A201 的 SS 平均值和峰值均表现为早播显著大于晚播,2017 年 A705 的 SS 峰值表现为早播显著大于晚播,其余未见显著差异(表 5)。综上所述,表明晚播相对低温条件下,棉铃对位叶 CWIN 和 SS 酶活性受到抑制,早晚播对 VIN 和 SPS 酶活性的影响因年份、基因型和取样时期而异。

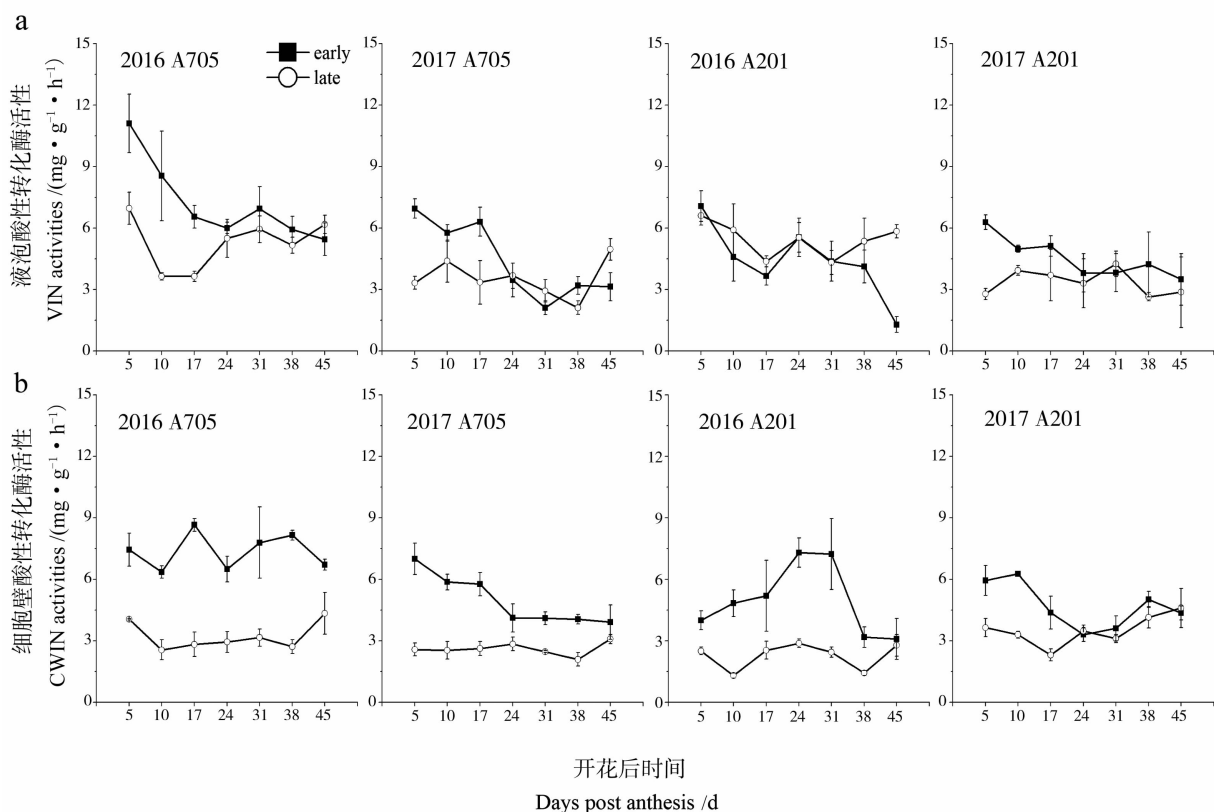


图 2 不同播期条件下棉铃对位叶 VIN 和 CWIN 酶活性的变化

Fig. 2 Dynamics of VIN and CWIN activities in the leaf subtending to cotton boll at two planting dates

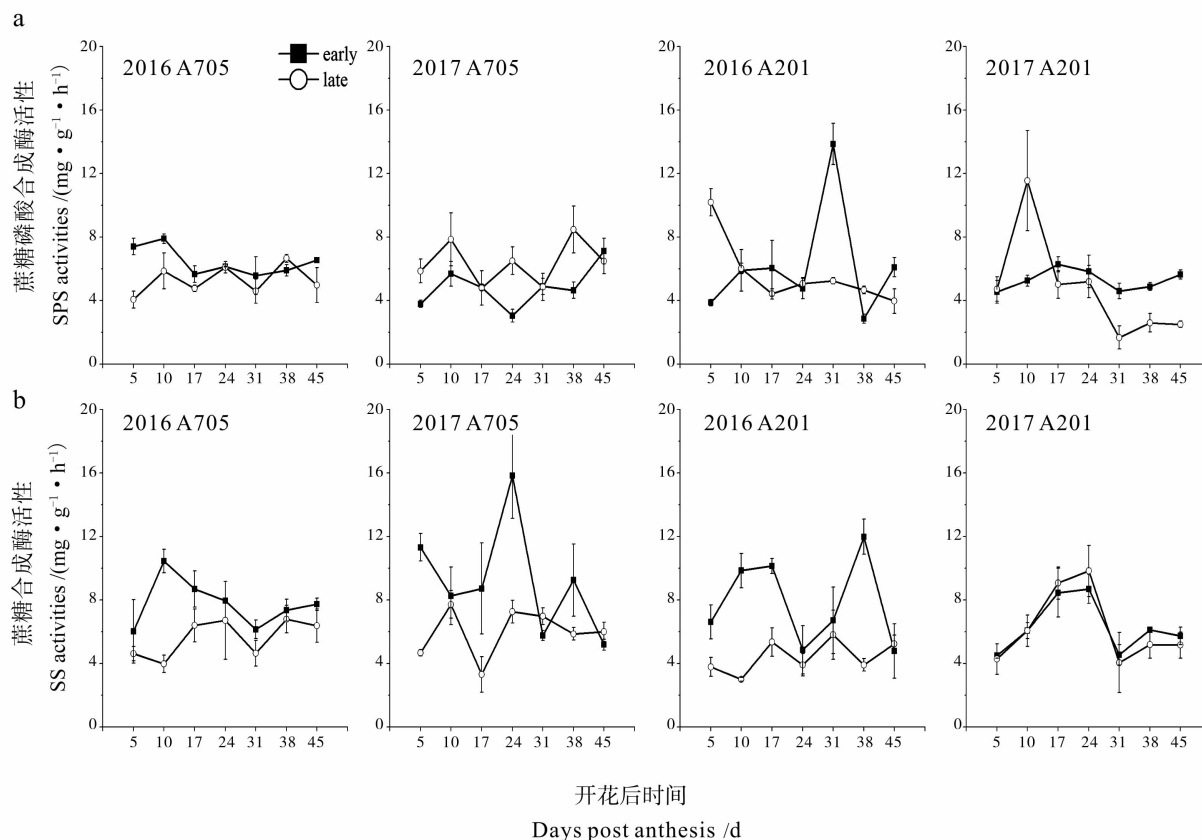


图3 不同播期条件下棉铃对位叶 SPS 和 SS 酶活性的变化

Fig. 3 Dynamics of SPS and SS activities in the boll-subtending leaf at two planting dates

3 讨论

3.1 不同播期条件下棉铃铃内产量性状及纤维品质的差异

棉铃发育受多种因素影响,温度被认为是对棉铃发育影响最大的环境因素。Liakatas 等^[6]报道低温(26 °C/16.5 °C 昼温/夜温)较高温(30 °C/20 °C 昼温/夜温)提高了铃重和衣分。铃重、单铃纤维质量、单铃种子质量和籽指随温度从 18 °C 升高到 25.5 °C 而增加,但在更高的温度(29.5 °C)时快速下降^[17]。在本试验中,2 年 A705 和 A201 铃重、单铃纤维质量、单铃种子质量和籽指均为晚播相对低温条件下表现更高,这可能是由于本试验晚播条件下铃期日均温(2016 年 25.2 °C, 2017 年 23.1 °C)较早播(2016 年 26.8 °C, 2017 年 28.3 °C)更适宜棉铃生长发育。且晚播条件下,棉铃具有更长的发育期,这可能是晚播棉铃铃重更高的原因之一。Yeates 等^[18]认为花铃期低温和低太阳辐射共同造成棉株生长速率下降,但棉铃充实阶段延长,从而达到高产。棉纤维品质形成受

温度影响,纤维正常发育的温度是 20~30 °C,日均温 22 °C 被认为是纤维伸长的最适温度^[17]。这与本试验晚播所处的温度 23.1~25.2 °C 更接近,这可能是 A705 和 A201 晚播纤维上半部平均长度更高的主要原因。纤维长度是由伸长速率及快速伸长时间综合协调决定,研究发现高温增加伸长速率,缩短快速伸长时间,高温增加的伸长速率并不能补偿伸长时间缩短对纤维伸长造成的不利影响^[19],而晚播低温条件下伸长时间的延长可补偿降低的伸长率^[20]。同样,晚播条件下纤维比强度增加,这与王友华等^[21]和 Bauer 等^[22]人研究一致;但与 Liakatas 等^[6]的研究不同,他们认为在 30 °C/20 °C(昼/夜)时的纤维比强度高于 26 °C/16.5 °C(昼/夜)。Lokhande 等^[17]报道在气温 18.01~29.5 °C 范围内,纤维比强度与日平均温度呈线性正相关。纤维强度的形成受纤维素沉积速率和时间决定,Wang 等^[23]发现纤维强度与纤维素沉积速率呈负相关,而与纤维素沉积时间呈正相关。可能在低温情况下,延长的纤维素沉

积时间弥补了纤维素沉积速率下降的影响,这可能是晚播条件下纤维比强度增加的原因。冯国艺等^[24]报道在滨海盐碱地杂交棉品种(冀杂 2 号)随播期推迟纤维品质提高,原因可能在于播期推迟有助于缓解对棉花生长发育的盐碱胁迫。这与本研究适当推迟播期有助缓解生育前期低温的胁迫类似。综上所述,晚播相对低温条件下,纤维品质略好于早播。

3.2 不同播期条件下棉铃对位叶蔗糖代谢的差异

棉花通过叶片光合作用产生同化物,棉铃对

位叶为棉铃提供了其生长发育所需能量的 80% 以上^[25]。温度过高或过低均会导致棉铃对位叶碳水化合物合成及转运受到抑制,从而降低铃重^[3,26]。本研究发现,2 年间晚播相对低温条件下 A705 和 A201 棉铃对位叶蔗糖浓度均表现高于早播,即晚播条件下棉铃对位叶有潜力供给棉铃更多的蔗糖,从而提高铃重。这与 Liu 等^[6]的研究结果相反,他们认为晚播蔗糖浓度较高的原因是低温阻碍了棉铃对位叶内蔗糖向外转运,导致铃重降低,可能是由于其研究中晚播所处温度过低。在其他植物中也发现蔗糖随温度降低而累积^[27-28]。

表 5 播期对棉铃对位叶 VIN,CWIN,SPS 和 SS 活性的平均值和最大值的影响(2016—2017)

Table 5 Effects of planting date on the mean and maximum of VIN, CWIN, SPS and SS activities in the leaf subtending to cotton boll(2016—2017)

年份 Year	基因型 Genotype	播期 Planting date	液泡酸性转化酶 Vacuolar invertase /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		细胞壁酸性转化酶 Cellwallinvertase /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		蔗糖磷酸合成酶 Sucrose phosphate synthase/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		蔗糖合成酶 Sucrose synthase /(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	
			平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
			mean	maximum	mean	maximum	mean	maximum	mean	maximum
2016	A705	早播 Early planting	7.22 a	11.10 a	7.37 a	8.65 a	6.45 a	7.89 a	7.77 a	10.44 a
		晚播 Late planting	5.29 b	6.96 a	3.22 b	4.34 b	5.29 a	6.66 b	5.65 b	6.80 b
	A201	早播 Early planting	4.38 a	7.07 a	4.98 a	7.31 a	6.20 a	13.86 a	7.85 a	11.98 a
		晚播 Late planting	5.42 a	6.60 a	2.27 b	2.88 b	5.65 a	5.24 b	4.43 b	5.82 b
2017	A705	早播 Early planting	4.42 a	6.95 a	4.97 a	7.00 a	4.86 a	7.12 a	9.19 a	15.83 a
		晚播 Late planting	3.53 a	4.96 b	2.61 b	3.09 b	6.40 a	8.47 a	5.97 a	7.72 b
	A201	早播 Early planting	4.53 a	6.28 a	4.70 a	6.27 a	5.29 a	6.29 a	6.31 a	8.70 a
		晚播 Late planting	3.35 b	4.25 b	3.51 b	4.60 a	4.75 a	11.56 a	6.23 a	9.82 a

注:表中数据均为同一年份同一品系间比较,同列数值后字母不同表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The comparisons of two planting dates were made for respective lines within the same year. Values within the same column with different letters are significant differences at the 0.05 level.

本研究发现 2 年在晚播条件下 SS 酶活性降低,这与 Liu 等^[6]的研究一致。晚播低温抑制 SS 酶活性,植物中的 SS 优先催化蔗糖的分解^[8,29],晚播蔗糖分解减少,可能是晚播棉铃对位叶中蔗糖积累较多的原因之一。此外,本研究还发现晚播棉铃对位叶中 CWIN 酶活性也降低,其主要功能是在植物韧皮部的源库两端影响蔗糖的装运与卸载,从而调节碳的分配^[30],这可能是晚播棉铃对位叶蔗糖浓度较高的又一原因。综上所述,晚播相对低温下抑制棉铃对位叶 SS 和 CWIN 酶活性,因而减少了蔗糖的分解,使晚播条件下棉铃对位叶有更多的蔗糖向棉铃转运,这可能是晚播铃重增大和纤维品质提高的主要原因。

4 结论

晚播相对低温条件下,棉铃发育时间延长,铃重、单铃种子质量和籽指提高,衣分下降;晚播纤维长度增加,马克隆值下降;晚播低温降低了棉铃对位叶 CWIN 和 SS 酶活性,蔗糖浓度升高,晚播棉铃对位叶有更多的蔗糖向棉铃转运,因而有利于铃重增大和纤维品质提高。上述研究可以为生产上合理调节播种期,提高纤维品质提供参考依据。

参考文献:

- [1] 杨长琴, 张国伟, 刘瑞显, 等. 不同播期与打顶时间对麦(油)后直播短季棉产量及纤维品质的影响[J]. 棉花学报, 2017, 29(6): 525-532. <https://doi.org/10.11963/1002-7807.ycqlrx.20171105>. Yang Changqin, Zhang Guowei, Liu Ruixian, et al. Effects of seeding date and topping date on yield and fiber quality of short-season cotton field-seeded after barley(rape)/wheat harvest [J]. Cotton Science, 2017, 29(6): 525-532.
- [2] 马富裕, 曹卫星, 李少坤, 等. 棉花纤维品质与气象因子的定量分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2102-2107. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2005.0298>. Ma Fuyu, Cao Weixing, Li Shaokun, et al. Quantitative analysis on the relationships between cotton fiber quality and meteorological factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2102-2107.
- [3] 周青, 王友华, 许乃银, 等. 温度对棉铃对位叶生理特性及铃重形成的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 518-527. <https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-4025.2009.03.015>. Zhou Qing, Wang Youhua, Xu Naiyin, et al. Effects of temperature on physiological characteristics in leaf subtending boll and boll weight forming[J]. Acta Botanica Boreali Sinica, 2009, 29(3): 518-527.
- [4] 罗海华. 不同衣分陆地棉种子与纤维碳代谢的基因型差异[D]. 南昌: 江西农业大学, 2018. <https://doi.org/CNKI:CDMD:2.1018.275569>. Luo Haihua. Genotypic differences in seeds and fibers carbon metabolism of cotton differing in lint percentage[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2018.
- [5] Tang F Y, Wang T, Zhu J M. Carbohydrate profiles during cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll development and their relationships to boll characters[J]. Field Crops Research, 2014, 164: 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.002>
- [6] Liu J R, Ma Y N, Lu F J, et al. Changes of sucrose metabolism in leaf subtending to cotton boll under cool temperature due to late planting[J]. Field Crops Research, 2013, 144(C): 200-211. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.02.003>
- [7] Hendrix D L, Huber S C. Diurnal fluctuations in cotton leaf carbon export, carbohydrate content, and sucrose synthesizing enzymes[J]. Plant Physiology, 1986, 81: 584-586. <https://doi.org/10.1104/pp.81.2.584>
- [8] Ruan Y L. Sucrose metabolism: gateway to diverse c-carbon use and sugar signaling[J]. Annual Review of Plant Biology, 2014, 65(1): 33-67. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040251>
- [9] Ruan Y L, Chourey P S. A fiberless seed mutation in cotton is associated with lack of fiber cell initiation in ovule epidermis and alteration in sucrose synthase expression and carbon partitioning in developing seeds[J]. Plant Physiology, 1998, 118(2): 399-406. <https://doi.org/10.1104/pp.118.2.399>
- [10] Huber S C, Huber J L. Role of sucrose phosphate synthase in sucrose metabolism in leaves[J]. Plant Physiology, 1992, 99: 1275-1278. <https://doi.org/10.2307/4274504>
- [11] Shu H M, Zhou Z G, Xu N Y, et al. Sucrose metabolism in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fibre under low temperature during fibre development[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31: 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.03.004>
- [12] Hu W, Ma Y N, Zhou Z G, et al. Effects of late planting and shading on sucrose metabolism in cotton fiber[J]. Environmental and Experimental Botany, 2016, 131: 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.08.001>
- [13] Hendrix D L. Rapid extraction and analysis of nonstructural carbohydrates in plant tissues[J]. Crop Science, 1993, 33: 1306-1311.
- [14] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 127. Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of

- Sciences. A guide to modern plant physiology experiments[M]. Beijing: Science Press, 1999: 127.
- [15] Wang L, Li X R, Lian H, et al. Evidence that high activity of vacuolar invertase is required for cotton fiber and Arabidopsis root elongation through osmotic dependent and independent pathways respectively [J]. Plant Physiology, 2010, 154: 744-756. <https://doi.org/10.1104/pp.110.162487>
- [16] Liakatas A, Roussopoulos D, Whittington W J. Controlled temperature effects on cotton yield and fibre properties[J]. The Journal of Agricultural Science, 1998, 130: 463-471. <https://doi.org/10.1017/S0021859698005413>
- [17] Lokhande S, Reddy K R. Quantifying temperature effects on cotton reproductive efficiency and fiber quality[J]. Agronomy Journal, 2014, 106: 1275-1282. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0531>
- [18] Yeates S J, Constable G A, McCumstie T, et al. Irrigated cotton in the tropical dry season. II: Biomass accumulation, partitioning and RUE[J]. Field Crops Research, 2010, 116: 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.01.007>
- [19] 戴艳娇. 花铃期增温影响棉花叶片代谢与纤维发育的生理机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- Dai Yanjiao. Effects of elevated temperature during flowering and boll formation stage on physiological mechanism of on cotton leaves and fiber[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [20] Thaker V S, Saroop S, Vaishnav P P, et al. Genotypic variations and influence of diurnal temperature on cotton fiber development[J]. Field Crops Research, 1989, 22: 1-13. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90063-4](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90063-4)
- [21] 王友华, 束红梅, 周治国, 等. 不同棉花品种纤维比强度形成的时空差异及其与温度的关系[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3865-3871. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2008.11.057>
- Wang Youhua, Shu Hongmei, Zhou Zhiguo, et al. Temporal and spatial differences in fiber specific strength formation of different cotton varieties and their relationship with temperature[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(11): 3865-3871.
- [22] Bauer P J, May O L, Camberato J J. Planting date and potassium fertility effects on cotton yield and fiber properties[J]. Journal of Production Agriculture, 1998, 11: 415-420. <https://doi.org/10.2134/jpa1998.0415>
- [23] Wang Y H, Shu H M, Zhou Z G, et al. The rate of cellulose increase is highly related to cotton fibre strength and is significantly determined by its genetic background and boll period temperature[J]. Plant Growth Regulation, 2009, 57: 203-209. <https://doi.org/10.1007/s10725-008-9337-9>
- [24] 冯国艺, 王树林, 祁虹, 等. 冀东滨海盐碱地机采模式下播期对棉花产量和品质形成的影响[J]. 棉花学报, 2018, 30(4): 291-299. <https://doi.org/10.11963/1002-7807.fgylyz.20180717>.
- Feng Guoyi, Wang Shulin, Qi Hong, et al. Cotton under machine-picked conditions in the coastal salinealkali area of eastern hebei province, China[J]. Cotton Science, 2018, 30(4): 291-299.
- [25] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000: 307.
- Ling Qihong. Crop population quality [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000: 307.
- [26] 刘敬然, 赵文青, 周治国, 等. 施氮量与播种期对棉花产量和品质及棉铃对位叶光合产物的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 951-961. <https://doi.org/10.11674/zwylf.2015.0414>
- Liu Jingran, Zhao Wenqing, Zhou Zhiguo, et al. Effects of nitrogen rates and planting dates on yield, quality and photosynthate contents in the subtending leaves of cotton boll[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2015, 21(4): 951-961.
- [27] Bhowmik P K, Matsui T, Suzuki H, et al. Seasonal changes of asparagus spears in relation to enzyme activities and carbohydrate content[J]. Horticultural Science, 2001, 88: 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00199-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00199-0)
- [28] Guy C, Huber J, Huber S. Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature[J]. Plant Physiology, 1992, 100: 502-508. <https://doi.org/10.2307/4274654>
- [29] Geigenberger P, Stitt M. Sucrose synthase catalyses a readily reversible reaction *in vivo* in developing potato tubers and other plant tissues[J]. Planta, 1993, 189: 329-339. <https://doi.org/10.2307/2338225>
- [30] Koch K. Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2004, 7: 235-246. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.03.014> ●