

弱光胁迫影响甘蔗叶片内源激素的平衡和分蘖进程

丘立杭^{1,2,3,*}, 李强^{4,*}, 黄杏^{1,2,3}, 罗含敏^{1,2,3}, 陈荣发^{1,2,3}, 吴建明^{1,2,3,**}, 李杨瑞^{1,3,**}, 陈栋⁵

¹中国农业科学院甘蔗研究中心, 南宁530007; ²广西壮族自治区农业科学院甘蔗研究所, 南宁530007; ³农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室/广西甘蔗遗传改良重点实验室, 南宁530007; ⁴广东省湛江农垦科学研究所, 广东湛江524086; ⁵来宾市食品药品监督管理局来宾市食品药品检验检测中心, 广西来宾546100

摘要: 光是甘蔗生长发育的重要环境因子, 充足的光照是甘蔗生育期中分蘖形成和生长的基础。然而, 广西特殊的地形地貌限制了蔗田的光照条件, 从而影响甘蔗分蘖及分蘖成茎和蔗茎产量。为揭示弱光胁迫对甘蔗分蘖生长发育及其内源激素含量的影响, 以生态适应性较好的甘蔗优良品种‘桂糖29号’为试验材料, 全自然光强为对照, 通过遮荫形成不同的弱光胁迫, 调查不同弱光胁迫下甘蔗分蘖及生长情况, 同时分析胁迫15、30、45、60 d时甘蔗叶片中叶绿素含量及生长素吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA₃)、脱落酸(ABA)、玉米素核苷(ZR)含量的变化。结果表明: 弱光胁迫致使甘蔗分蘖生长发育明显延滞, 甘蔗分蘖发生时间至少滞后15 d, 严重的导致分蘖不发生和死亡; 甘蔗叶片叶绿素含量均显著升高, 但株高生长和茎径增粗均显著地受抑制, 进而导致植株生物量积累显著减少。进一步研究发现, 弱光胁迫下不同生育时期甘蔗叶片中内源激素含量大小为: ZR>IAA>ABA>GA₃。在适应弱光胁迫过程中, 甘蔗叶片的IAA、ABA和ZR含量均显著升高, IAA/ABA、IAA/ZR比值在分蘖适应寡照胁迫中表现为升高; GA₃含量和GA₃/ABA比值均先降后升; ZR含量和ZR/ABA比值表现为升高。这些内源激素含量和比例变化可能是甘蔗分蘖进程受到抑制的关键因素之一。

关键词: 甘蔗; 分蘖; 弱光胁迫; 农艺性状; 内源激素

甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)是生长在热带、亚热带地区的最重要糖料作物, 生物产量大, 整个生长发育期均需要较高的光照强度。广西蔗区是我国甘蔗最大的主产区和蔗糖生产基地, 产糖量自1993年以来一直稳居全国首位, 在我国食糖生产和安全中发挥着举足轻重的作用(李杨瑞等2012)。但是广西甘蔗种植以丘陵、山地和坡地为主, 为复杂的喀斯特地形地貌, 约占全区陆地总面积的71.23%, 地形地貌对气候资源的空间分配存在着明显的差异, 尤其是光资源(苏永秀等2006)。欧钊荣等(2008)分析了我国甘蔗各主产区气象因子与甘蔗产量的相关性, 发现广西蔗区的雨热条件充足, 但甘蔗对光照资源的利用因其复杂的地形地貌而受到不同程度的限制。

前人的研究表明, 光照是仅次于水分限制甘蔗生长的第二大环境因子(蒋菊生等1999; 古丽等2011; 陈燕丽等2016), 也是甘蔗开花诱导及杂交育种的关键(李奇伟等1994; 王丽萍等1999)。在自然光照下, 甘蔗叶片接收的光强、光照时数与其产量呈正相关, 光照越强、日照时间越长, 越有利于产量提高和糖分积累, 且最适日照时数为8 h以上(苏广达等1983)。分蘖成茎决定着甘蔗最终有效茎数, 进而影响甘蔗产量的形成, 因此甘蔗分蘖的提早发生对提高产量极为重要。还有研究表明, 环境因素是通过改变植物体内激素的含量及平衡

来实现对分蘖的调控, 而且植物激素在提高作物产量上也起着尤为重要的作用(Chen等2009; 王如芳等2012; 段娜等2015)。在甘蔗生产中, 外源赤霉素通过诱导体内生物活性赤霉素的合成促进甘蔗节间伸长, 从而明显提高产量(吴建明等2009; 梁闾等2015); 朱晓凤等(2015)研究生长素吲哚乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)、赤霉素(gibberellic acid 3, GA₃)和脱落酸(abscisic acid, ABA)等植物内源激素在高秆与矮秆芝麻株高建成中含量动态变化的特性, 认为GA₃与株高生长速率最为紧密。徐澜等(2016)研究认为, 在不同春播条件下, 冬麦主茎叶片内源激素动态在其籽粒产量形成过程中发挥重要作用, 发现不同内源激素对小麦产量的贡献存在明显差异, 而且作用的关键时期也不同。刘俊仙等(2016)

收稿 2016-10-08 修订 2017-02-15

资助 国家自然科学基金(31360312和31460102)、广西自然科学基金(2016GXNSFBA380034、2015GXNSFDA139011、2014GXNSFAA118128和2013GXNSFAA019073)、广西重点实验室建设项目(15-140-13)、广西科技计划项目(桂科攻1598006-1-2E)、广西八桂学者和特聘专家专项经费(2013)、国家农业产业技术体系广西甘蔗创新团队专项经费(gjnytxgxcxttd-03)和广西农业科学院项目(2015YM13和2015YT02)。

* 共同第一作者

** 共同通讯作者(E-mail: wujianming2004@126.com; liyr@gxaas.net)。

利用多效唑浸种来影响甘蔗内源激素含量变化以实现甘蔗提早分蘖; 罗明珠等(2002)的研究表明甘蔗产量和糖分与其叶片内源激素含量的关系密切; 杨善等(2015)认为叶片的光合因子对甘蔗蔗糖分有重大影响。

虽然光因子对植物生长发育的影响已在许多植物中进行了研究(于敏等2016; 任小芸等2016), 但关于弱光胁迫对甘蔗生长发育在生理生态方面的相关研究鲜有报道(朱俊杰和李杨瑞2014), 尤其是甘蔗内源激素动态的光响应研究尚未见报道。本研究拟对高产高糖甘蔗优良品种‘桂糖29号’进行不同弱光胁迫处理, 研究弱光信号对甘蔗生长发育的影响, 分析在弱光胁迫适应过程中甘蔗叶片内源激素的动态, 以期探讨光因子对甘蔗生长发育的激素调控机理, 为植物生长调节剂在甘蔗高产高糖栽培上的集成应用提供理论参考。

材料与方法

1 试验材料的准备与处理

试验材料选用高产、高糖、分蘖力强的甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)优良品种‘桂糖29号’。

试验于2015年9月在广西农业科学院甘蔗研究所开展。温室内进行沙土育苗, 选取‘桂糖29号’中上部芽体完好茎段, 将甘蔗砍成单芽, 选取株型和长势相对一致的二叶龄甘蔗幼苗移栽到塑料黑桶(内径35 cm, 高50 cm), 每个塑料黑桶装混合土20 kg ($m_{\pm}:m_{\text{沙}}=3:1$), 试验土样营养情况为有机质12.80 g·kg⁻¹, 碱解氮44.8 mg·kg⁻¹, 有效磷42.4 mg·kg⁻¹, 速效钾88 mg·kg⁻¹。每桶拌混15 g复合肥作基肥, 并施放适量托布津防治地下害虫, 每桶移植3株幼苗, 于全自然光照条件下进行适应性生长5 d后立即分为3组进行不同弱光胁迫处理: (1) 80%透光率弱光胁迫处理(GS); (2) 48%透光率弱光胁迫处理(GS1); (3) 28.8%透光率弱光胁迫处理(GS2)。每一组为4桶, 3个重复(共36株), 以全自然光照作为对照。分别在处理15、30、45、60 d时取样(甘蔗第一片真叶), 除叶绿素含量及单株生物量用鲜样直接测定外, 其他根据试验测定用样量, 称鲜重分装, 先放入液氮处理30 min, 然后转入-80℃超低温保存备用。

2 试验条件

本试验采用随机区组设计(设为A、B、C区),

2次重复, 遮荫棚及温室顶部覆盖80%和60%透光率的黑色遮阳网, 通过不同组合方式进行不同弱光胁迫处理(温室弧顶高8 m, 遮荫棚弧顶高3 m)。以温室外100%全自然光为对照, A区(GS)为采用80%透光率的遮阳网覆盖形成的弱光处理, B区(GS1)为采用80%和60%透光率的遮阳网组合(总透光率为: 80%×60%=48%)覆盖形成的弱光处理, C区(GS2)为在B区组合的基础上再覆盖60%透光率的遮阳网形成的弱光胁迫处理(总透光率为: 80%×60%×60%=28.8%), 本试验遮荫棚及温室4周敞开, 确保遮荫棚和温室内外通风良好, 以尽量排除温度和相对湿度因素对试验结果的干扰。胁迫处理后试验区内的小气候情况见表1, 表中数据于每日12:00采用LI-6400光合测定仪(美国LI-COR公司)连续测定10 d。每个处理按照1.2 m行距摆放, 同时每一桶甘蔗均定时定量浇灌清水, 肥料与病虫害等管理同一般大田。

表1 弱光胁迫对试验区内小气候的影响

Table 1 Effects of different weak-light stresses on the microclimate of experiment areas

处理	光照强度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	温度/°C	相对湿度/%
对照	1 884.10±39.25 ^a	36.52±0.76 ^a	73.66±2.40 ^a
GS	1 533.66±44.62 ^b	34.19±0.40 ^b	74.68±2.88 ^a
GS1	929.88±49.90 ^c	31.01±0.39 ^c	75.10±3.08 ^a
GS2	554.02±27.92 ^d	30.21±0.52 ^c	75.10±2.30 ^a

不同小写字母表示在5%水平上差异显著($P<0.05$)。

3 试验方法

3.1 甘蔗农艺性状调查

每一组处理随机选择甘蔗共15株, 在弱光胁迫60 d时测定其株高和茎径, 同时调查不同生育时期甘蔗分蘖情况, 以可见分蘖苗总数占总苗数的百分比为分蘖率。

3.2 生物量测定

于弱光胁迫60 d时随机选取5株甘蔗, 整株取出洗净, 用棉纱布吸干表面水分, 接着分为地下部和地上部样品, 称量其鲜重; 随后立即105℃杀青20 min, 在65℃烘箱内烘干72 h后称量干重。

3.3 叶绿素含量测定

从每个处理甘蔗植株上选取3~5片具有代表性的成熟叶片, 擦净并除去中叶脉, 剪碎混匀, 快速称取0.2 g鲜样, 置于25 mL带刻度试管中, 加入无水

乙醇至最高刻度线, 常温下避光浸提72 h直至叶片全部变白, 测定前用无水乙醇再次定容至刻度值。以无水乙醇为空白, 吸取浸提液在紫外分光光度计UV-1800 (日本岛津)中测定光密度(OD)值。

3.4 内源激素含量测定

参照陈明辉等(2013)的方法, 用酶联免疫吸附分析法(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)测定IAA、GA₃、ABA和玉米素核苷(zeatin riboside, ZR)含量。激素试剂盒购于中国农业大学作物化学控制实验室, 每组样品重复测定3次。

4 数据处理与分析

用DPS 7.05软件进行单因素最小显著差法(least-significant difference, LSD)多重比较方差分析; 用GraphPad Prism 6.0作图, 图表中的数值为均值±标准差。

实验结果

1 不同弱光胁迫下甘蔗主要农艺性状的差异

1.1 分蘖性状

弱光胁迫条件下, 甘蔗分蘖发生的起始在数量和时间上存在很大差异, 进而显著影响甘蔗总苗数和分蘖率(表2)。从表2中弱光胁迫对甘蔗最低/最高分蘖数比值的影响可知, 弱光胁迫明显抑制了甘蔗分蘖的发生, 而且随胁迫程度加剧, 抑制现象愈显严重。我们调查统计发现, 在遮荫处理15 d之前, 全自然光照条件下(对照), 每个重复均已出现了分蘖, 说明分蘖已经开始萌动; 而GS处理只在其中一个重复发生分蘖; GS1和GS2处理均未出现, 直至处理15 d之后的30 d时才发现分蘖苗, 这说明弱光胁迫延迟甘蔗分蘖的发生将近15 d, 严重的长

表2 不同弱光胁迫下苗期甘蔗的分蘖情况

Table 2 Tillering under different weak-light stresses at seedling stage of sugarcane

处理	遮荫15 d		遮荫30 d		遮荫45 d		遮荫60 d	
	最低/最高分蘖数	分蘖率/%	最低/最高分蘖数	分蘖率/%	最低/最高分蘖数	分蘖率/%	最低/最高分蘖数	分蘖率/%
对照	0/5	72.22 ^{aA}	2/17	347.22 ^{aB}	11/21	508.33 ^{aC}	11/25	586.11 ^{aC}
GS	0/2	8.33 ^{bA}	0/9	136.11 ^{bB}	5/13	322.22 ^{bC}	5/16	369.44 ^{bC}
GS1	0/0	0.00 ^{bA}	0/2	11.11 ^{bB}	0/7	91.67 ^{bC}	0/13	163.89 ^{bD}
GS2	0/0	0.00 ^{bA}	0/2	11.11 ^{bB}	0/3	27.78 ^{bC}	0/5	58.33 ^{bD}

同列不同小写字母表示在5%水平上差异显著($P < 0.05$), 同行不同大写字母表示在5%水平上差异显著($P < 0.05$)。

达30 d。我们还发现, 随着胁迫时间的积累, 弱光胁迫还导致分蘖苗衰亡或无分蘖, 尤其在GS1和GS2处理, 致使其分蘖率在两者之间和不同生育时期之间的差异均达显著水平。

不同生育时期, 甘蔗分蘖率在弱光胁迫处理和对照之间的差异显著, 遮光率越大分蘖受抑制越严重; 然而不同弱光胁迫处理之间的差异则不同。从表2还可知, 在整个遮荫过程中, 对照和GS处理在45 d前甘蔗分蘖率存在显著差异, 且两者间甘蔗分蘖的发生是同步的, 这说明较低遮荫度对甘蔗分蘖的影响主要表现为抑制作用, 进而影响其分蘖进程, 因而导致这两组分蘖率在遮荫45和60 d时的差异不显著。GS1和GS2处理下4个不同生育时期的分蘖率均差异显著, 这也证实弱光胁迫不仅抑制分蘖的发生, 同时还延缓分蘖进程。

1.2 株高与茎径

图1显示, 弱光胁迫明显抑制了甘蔗茎粗生长,

虽然GS1和GS2胁迫处理的未达到显著水平, 但随着遮荫强度加大, 甘蔗平均茎径不断变小。在甘蔗节间伸长生长方面, 株高受到了不同程度的抑制。对照和GS处理的明显高于GS1和GS2的, 而对照和GS间的差异不显著, 弱光胁迫下的GS反而略高于对照, 但对照的茎径明显比GS的粗大, 所以推测适当轻度遮荫可能对蔗茎节间伸长有利。

2 弱光胁迫对甘蔗分蘖后期生物量积累的影响

甘蔗是光饱和点低的高光效C₄作物, 对光照的需求量极大(李杨瑞2010)。由表3可知, 弱光胁迫不利于甘蔗生物量的积累。与对照相比, 弱照对甘蔗地上部和根系鲜重及干重显著影响, 也降低了根冠比, 但差异不大。在不同弱光胁迫下生长的甘蔗, 地上部鲜重差异显著, 且降幅较大, 最高可达2倍以上; 弱照对甘蔗根系干重和鲜重的影响在GS1和GS2处理之间不显著, 但总体都表现为下降, 同样的结果也在地上部干重中体现。

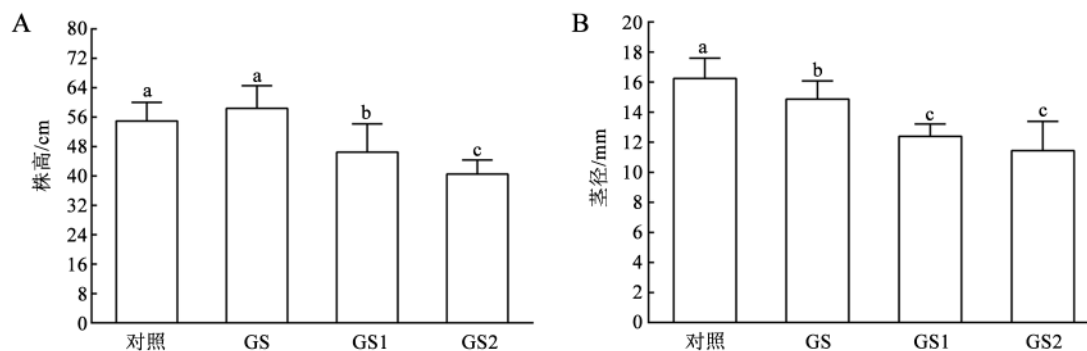


图1 不同弱光胁迫对苗期甘蔗株高(A)和茎径(B)的影响

Fig.1 Effects of different weak-light stresses on plant height (A) and stalk diameter (B) at seedling stage of sugarcane
小写字母表示同一生育时期下不同胁迫处理之间的结果在5%水平上差异显著($P<0.05$)。

表3 不同弱光胁迫下甘蔗生物量的变化

Table 3 Changes in biomass of sugarcane under different weak-light stresses

处理	地上部鲜重/g·株 ⁻¹	根系鲜重/g·株 ⁻¹	地上部干重/g·株 ⁻¹	根系干重/g·株 ⁻¹	根冠比
对照	262.23±25.65 ^a	83.83±9.10 ^a	57.84±5.93 ^a	13.63±1.56 ^a	0.24
GS	145.75±17.07 ^b	36.02±2.75 ^b	28.21±2.84 ^b	6.46±0.62 ^b	0.23
GS1	51.52±6.15 ^c	13.13±1.99 ^c	9.49±0.70 ^c	1.91±0.15 ^c	0.20
GS2	33.11±4.84 ^d	8.61±0.74 ^c	5.56±0.89 ^c	1.04±0.05 ^c	0.19

表中根冠比为根系干重与地上部干重的均值之比; 不同小写字母表示在5%水平上差异显著($P<0.05$)。

3 弱光胁迫对甘蔗叶片中叶绿素含量变化的影响

图2显示, 与全自然光照相比, 除处理的前15 d外, 不同弱光胁迫明显提高了总叶绿素(图2-A)、叶绿素a(图2-B)、叶绿素b(图2-C)含量, 且含量随胁迫程度加剧而显著增加。结合弱光胁迫15 d时甘蔗株高值大于对照的结果(图1), 我们认为可能是株高生长需要更多的叶绿素来捕获光能以满足生理生长需要所致。不同处理叶绿素a/b比值(图2-D)变化对弱光胁迫的响应没有规律, 在胁迫后45 d内, 其变化波动较大, 但总体呈下降趋势; 而60 d时的结果恰好相反。这可能是甘蔗植株不断适应弱光胁迫环境的缘故。

图2还显示, 全自然光照条件下, 不同生长时期对照的甘蔗叶片中叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量和叶绿素a/b比值总体变化趋势相同, 均先升后降, 最后下降到起始水平, 但不同弱光胁迫处理之间的变化无明显规律。这暗示正常条件下甘蔗叶片总叶绿素及其组分含量的变化在分蘖期有规律可循, 但是弱光胁迫扰乱了这些变化, 进而影响植株的光合能力。

4 弱光胁迫对甘蔗叶片中内源激素含量动态的影响

4.1 IAA

IAA是广泛存在于高等植物中的植物内源生长素, 含量丰富, 在植物的生长发育中发挥重要作用。本研究表明, 甘蔗叶片内源IAA含量受到了弱光胁迫的诱导和调控(图3-A)。根据同一生育时期内不同胁迫处理之间的结果, 甘蔗叶片中IAA含量明显高于对照, 且总增幅以GS胁迫处理的最高, GS2的次之, GS1的最小, 这暗示弱光胁迫诱导了IAA的积累或合成, 不同强度的弱光信号对IAA含量的调控存在着差异。根据同一弱光胁迫处理在不同生育时期之间的结果, 全自然光照条件下(对照), 甘蔗叶片中IAA含量随着生长时间的推移呈缓慢上升趋势, 差异显著。相比对照, GS、GS1和GS2处理的IAA含量变化动态不一, 但总体也呈上升趋势, 如图3-A所示, IAA含量在GS中呈现双S型上升, GS1的与对照的增长趋势相近, 而GS2的则在60 d时出现了7.86%的小幅下降。因此, 本研究认为弱光胁迫总体诱导了甘蔗叶片中IAA含量的升高。

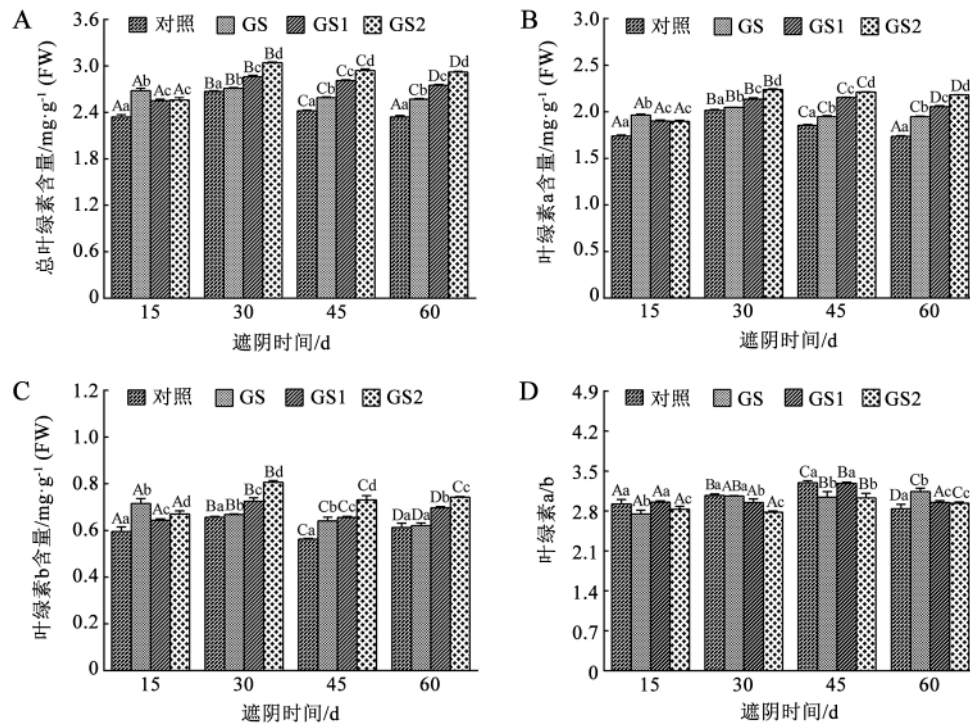


图2 不同弱光胁迫对不同时期甘蔗叶片中叶绿素含量的影响

Fig.2 Effects of different weak-light stresses on chlorophyll contents in leaves at different stages of sugarcane

小写字母表示同一胁迫时间下的不同处理之间的结果在5%水平上差异显著($P < 0.05$), 大写字母表示在不同胁迫时间上的同一处理的结果在5%水平上差异显著($P < 0.05$); 图3同。

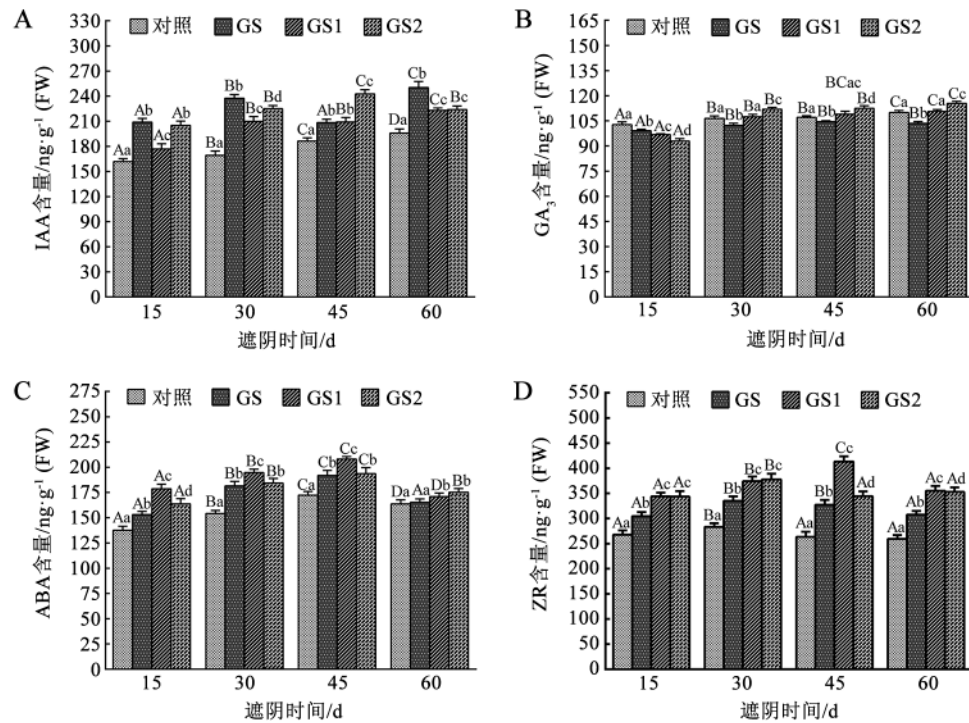


图3 不同弱光胁迫对甘蔗叶片IAA (A)、GA₃ (B)、ABA (C)和ZR (D)含量的影响

Fig.3 Effects of different weak-light stresses on the contents of IAA (A), GA₃ (B), ABA (C) and ZR (D) in sugarcane leaves

4.2 GA₃

GA₃是促进作物生长发育的重要激素之一,也是作物茎秆营养生长的关键,GA₃的主要生理效应是促进作物茎秆伸长。由图3-B可知,从弱光胁迫处理看,在15 d时抑制了甘蔗叶片中GA₃的积累或合成,显著于对照;在随后适应胁迫过程中,GS处理的GA₃积累或合成一直显著受抑制,GS1和GS2反而积累了较多的GA₃,但GS1处理与对照的差异不显著。

从胁迫后不同生长时期看,在相同的胁迫条件下,不同生长时期甘蔗叶片中GA₃含量不断上升。在胁迫15和60 d时,各处理均达显著水平。通过分析弱光胁迫处理之间GA₃含量变化发现,在30~60 d,随着遮荫度越大,GA₃含量越高,且差异显著;15 d的结果正好相反(图3-B)。

图3-B还表明,弱光胁迫导致甘蔗叶片中GA₃含量下降,但在不断适应胁迫过程中,GA₃含量得以不同程度回升,以满足其促进植株生长的生理功能。

4.3 ABA

ABA在植物生长周期中具有多种生理功能,在抵御非生物胁迫中扮演重要角色,ABA含量积累有利于植株抵抗逆境。由图3-C可知,弱光胁迫对甘蔗叶片内源ABA含量的影响较大,明显提高了其含量,并以GS1处理的变化幅度最大。比较不同生育时期的弱光胁迫处理可以看出,除GS处理60 d的之外,其他时期的弱光胁迫下甘蔗叶片内源ABA含量与对照之间的差异均达显著水平,随遮荫程度加大,比对照分别提高了1.0%~17.7%、4.4%~41.3%和7.1%~19.5%。从ABA含量在不同生育时期的变化看,在胁迫15~45 d,不同生长时期下胁迫处理的叶片中ABA含量显著升高,45~60 d出现了不同程度的降幅,但总体变化趋势相一致,即随甘蔗受胁迫时间的推进,叶片中内源ABA含量不断积累。因此,图3-C的结果暗示甘蔗叶片中内源ABA水平随着光照环境条件的改变而发生剧烈变化,同时也随着自身所处发育时期而发生变化,两者的影响可能有叠加效应。

4.4 ZR

ZR是植物体内源细胞分裂素的主要活性形式之一。由图3-D可知,弱光胁迫对甘蔗叶片内源ZR

含量的影响较大,弱光胁迫显著提高甘蔗叶片ZR含量,且对ZR含量的增幅不同。与对照相比,3个不同弱光胁迫对ZR含量的最大增幅分别为24.46%(GS, 45 d)、56.85%(GS1, 45 d)和35.99%(GS2, 60 d)。从不同生育时期ZR含量变化趋势看,各处理下生长的甘蔗叶片中ZR含量均是先增后减,但出现峰值的时间略有不同,对照、GS和GS2均出现在30 d,而GS1则出现在45 d。由图3-D还可看出,经不同处理30和60 d后,ZR相对含量前后变化不显著,这可能是植株光形态建成的结果。

4.5 弱光胁迫对甘蔗叶片IAA/ZR、IAA/ABA、GA₃/ABA和ZR/ABA的影响

由表4可知,弱光胁迫对甘蔗叶片内源激素含量的动态平衡产生影响。IAA/ZR比值在叶片组织中的变化随着生育时期的推进总体表现上升趋势,各胁迫处理均在30~45 d出现转折,对照呈缓慢上升,GS和GS1呈双S型,GS2呈单S型上升,总增幅分别为25.00%、17.39%、23.53%、5.00%。IAA/ZR比值在同期不同胁迫处理之间的平衡表现不一。各胁迫处理叶片IAA/ABA比值在不同生育时期的变化波动不大,对照的两者浓度相当,比值先降后

表4 弱光胁迫对甘蔗叶片中IAA/ZR、IAA/ABA、GA₃/ABA和ZR/ABA比值的影响

Table 4 Effects of different weak-light stresses on the ratios of IAA/ZR, IAA/ABA, GA₃/ABA and ZR/ABA in sugarcane leaves

比值	处理	遮荫15 d	遮荫30 d	遮荫45 d	遮荫60 d
IAA/ZR	对照	0.60	0.60	0.71	0.75
	GS	0.69	0.71	0.64	0.81
	GS1	0.51	0.56	0.51	0.63
	GS2	0.60	0.60	0.70	0.63
	IAA/ABA	对照	1.18	1.10	1.08
IAA/ABA	GS	1.36	1.31	1.09	1.51
	GS1	0.99	1.08	1.00	1.30
	GS2	1.25	1.22	1.25	1.28
	GA ₃ /ABA	对照	0.75	0.69	0.62
GA ₃ /ABA	GS	0.65	0.56	0.55	0.63
	GS1	0.54	0.55	0.52	0.65
	GS2	0.57	0.61	0.58	0.66
	ZR/ABA	对照	1.95	1.84	1.53
ZR/ABA	GS	1.99	1.85	1.71	1.86
	GS1	1.92	1.92	1.99	2.08
	GS2	2.10	2.05	1.78	2.01

表中内源激素间的比值均是激素含量的均值之比。

升,最大降幅为8.47%,总增幅为1.69%;GS的平衡波动较大,也是先降后升,先是15~45 d的19.85%较大降幅,随后在45~60 d增加了41.28%,总增幅为11.03%;GS1的呈双S型缓慢上升,总增幅为31.31%;GS2的与对照和GS的变化相似,但前者在30 d时出现最低值,后两者为45 d,总增幅为2.4%。

弱光胁迫甘蔗叶片 GA_3/ABA 比值均低于同期对照水平;对照和GS处理表现为先下降后回升,但总体为下降趋势,GS1和GS2处理则是表现总体上升趋势,但在45 d时均出现一个明显降幅。除GS1处理15 d之外,不同弱光胁迫下甘蔗叶片ZR/ABA比值均高于同期对照水平,这一结果与 GA_3/ABA 比值的变化相反;弱光胁迫对不同生长时段叶片ZR/ABA比值的动态变化趋势在对照、GS和GS2中总体呈现下降,而GS1则相反。

由表4和图3的结果可见,弱光胁迫下不同生育时期甘蔗叶片中内源激素含量顺序为:ZR>IAA>ABA> GA_3 ;在对照中也是如此。

讨 论

1 弱光胁迫延缓甘蔗分蘖生长发育

甘蔗是以收获地上茎为主的重要 C_4 作物,分蘖是甘蔗产量形成的重要农艺性状之一,也是株型和群体结构建成的要素,因此分蘖成茎是实现甘蔗高产最有效途径。光照是影响甘蔗生长发育的重要环境因素之一,广西蔗区是我国第一产糖大省,由于特殊的地形地貌,面临光照资源时空分布极大差异的现状,尤其是低洼、山坡地形(坡度和坡向)及喀斯特地貌等,严重限制甘蔗对光照资源的充分利用(苏永秀等2006;欧钊荣等2008)。本研究发现,弱光胁迫延缓甘蔗生长发育,主要表现为分蘖及其生长受抑制,这与陈燕丽等(2016)分析气象因子延滞甘蔗生长的结果相符,延滞时效也吻合。本研究结果表明甘蔗分蘖数、株高、茎粗等下降,是导致其生物量减少的主因,这与前人研究结果一致(蔡昆争和骆世明1999;张吉旺等2006;王丽等2012;陈小玲和陈清西2014),即使其叶片总叶绿素、叶绿素a和叶绿素b等含量显著增多(邹长明等2015)。叶绿素含量升高的原因可能是甘蔗需要通过提高叶绿素含量来捕获更多的光能,以适

应弱光胁迫对其光合作用的不利影响(杨善等2015);同时弱光胁迫对甘蔗根系大小和功能产生不利影响,进而导致营养物质供给不足,也是甘蔗分蘖受延缓的原因之一(陈小玲和陈清西2014;张保青等2016);也有研究认为弱光胁迫通过影响植物内源激素在根系的分布和平衡,进而导致根系的生长发育和功能受到抑制,从而不利于植株正常生长和发育(刘大同等2013;邢国芳等2015)。

2 弱光胁迫对甘蔗分蘖的延缓与内源激素动态密切相关

段娜等(2015)的研究表明,内源激素在植物生长发育中扮演重要角色,其含量变化在植物响应非生物胁迫中发挥重要作用。综合分析本文表4和图3的结果发现,弱光胁迫15 d后IAA、ABA和ZR含量增加; GA_3 含量降低,GS处理的一直低于对照;在随后适应胁迫的生育进程中,从45~60 d,即甘蔗分蘖期至伸长初期(李杨瑞2010;钟楚等2012),这些内源激素含量均表现出不同程度增加,胁迫越强增幅越大;且叶片中ZR、IAA、ABA和 GA_3 相对含量均表现为:ZR>IAA>ABA> GA_3 。这暗示叶片中ZR和 GA_3 含量的变化可能是甘蔗分蘖响应弱光胁迫的共有方式。叶燕萍(2006)的研究表明ZR含量增加与甘蔗分蘖密切相关,Hirayama和Shinozaki(2010)认为ABA含量增加有利于甘蔗适应弱光胁迫。可见,这些激素间的互作最终延缓弱光胁迫下甘蔗分蘖和茎的生长发育。

弱光胁迫下,IAA含量升高不利于分蘖的发生(叶燕萍2006),可能是不同生育时期甘蔗叶片ABA含量升高抑制了IAA的同化速率,不利于IAA向其他组织和器官的非极性运输能力与强度;也可能是弱光胁迫下光合作用降低造成蔗糖和果糖等比例的变化,从而影响IAA含量动态(周卫霞等2013)。ABA虽具有提高作物抗逆作用,但其含量升高加速了分蘖的衰亡(Vasantha等2012),而叶片 GA_3 含量降低则有助于分蘖的生长(刘俊仙等2016);ABA和IAA含量升高,通过信号转导,两者协同促进了ZR不依靠能量及载体由地下部分向地上部分运输能力与强度(Nieminen等2008;Kudo等2010),致使其在叶片中含量大幅升高,影响基部节间ZR含量,打破CTKs/IAA的平衡,导致甘蔗分蘖减少(王如芳等2012)。前人发现光照条件影响GAs生

物合成和分解代谢的速率(Olszewski等2002), 弱光抑制活性GAs的合成(Kamiya和García-Martínez 1999), 且赤霉素3-氧化酶(gibberellin 3-oxidases, GA3ox) 基因的表达式调控受光敏色素A(phytochrome A, phyA)等光受体的介导(Yamauchi等2004; 任小芸等2016), 因而引起GA₃含量在叶片中的大幅减少。

弱光胁迫下, 激素间的动态平衡也是延缓甘蔗分蘖和茎生长发育的重要原因之一, IAA/ABA、GA/ABA和CTK/ABA比值的降低会引起生长发育的停滞(董伟欣等2015)。本研究发现, 在适应弱光胁迫的生长过程中, 甘蔗叶片中IAA/ABA和ZR/ABA比值升高对维持植株正常生长发育至关重要; 不同生育时期甘蔗叶片中IAA、GA₃和ZR含量及它们与ABA比值的变化与这3种激素本身的总体变化趋势相似, 结果提示GA₃/ABA的比值降低可能是甘蔗分蘖生育受抑制和延缓的关键。

综上所述, 弱光胁迫对甘蔗分蘖生长发育的延缓作用与内源激素含量及其平衡存在复杂的联系, 有待深入研究。

参考文献

- Cai KZ, Luo SM (1999). Effect of shading on growth, development and yield formation of rice. *Chin J Appl Ecol*, 10 (2): 66–69 (in Chinese with English abstract) [蔡昆争, 骆世明(1999). 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响. *应用生态学报*, 10 (2): 66–69]
- Chen CY, Zou JH, Zhang SY, Zaitlin D, Zhu LH (2009). Strigolactones are a new-defined class of plant hormones which inhibit shoot branching and mediate the interaction of plant-AM fungi and plant-parasitic weeds. *Sci China (Ser C): Life Sci*, 52 (8): 693–700
- Chen MH, Huang X, Xie XN, Yang LT, Li YR, Chen BS (2013). Effects of ratoon stunting disease on growth and endogenous hormone in sugarcane. *J Huazhong Agric Univ*, 32 (3): 57–61 (in Chinese with English abstract) [陈明辉, 黄杏, 谢晓娜, 杨丽涛, 李杨瑞, 陈保善(2013). 宿根矮化病菌对甘蔗生长和内源激素的影响. *华中农业大学学报*, 32 (3): 57–61]
- Chen XL, Chen QX (2014). Research advance of plant physiology under weak light adversity. *Nor Hortic*, (6): 183–187 (in Chinese with English abstract) [陈小玲, 陈清西(2014). 植物弱光逆境生理的研究进展. *北方园艺*, (6): 183–187]
- Chen YL, Feng LP, Ding MH, Mo WH, Kuang ZM (2016). Effects of meteorological factors on stalk elongation in new-planting and ratooning sugarcane. *Acta Agron Sin*, 42 (4): 583–590 (in Chinese with English abstract) [陈燕丽, 冯利平, 丁美花, 莫伟华, 匡昭敏(2016). 气象因子对广西新植蔗和宿根蔗茎伸长的影响. *作物学报*, 42 (4): 583–590]
- Dong WX, Lu ZY, Ren S, Zhang YL, Xie Y, Liu M, Wei Y, Zhang YC (2015). Effects of short-day photoperiod on hormone contents and balance of endogenous hormones in adzuki bean leaves. *J Henan Agric Univ*, 49 (6): 723–728 (in Chinese with English abstract) [董伟欣, 路战远, 任帅, 张彦立, 谢颖, 刘明, 魏岩, 张月辰(2015). 短日照诱导对小豆叶片内源激素含量及其平衡的影响. *河南农业大学学报*, 49 (6): 723–728]
- Duan N, Jia YK, Xu J, Chen HL, Sun P (2015). Research progress on plant endogenous hormones. *Chin Agric Sci Bull*, 31 (2): 159–165 (in Chinese with English abstract) [段娜, 贾玉奎, 徐军, 陈海玲, 孙鹏(2015). 植物内源激素研究进展. *中国农学通报*, 31 (2): 159–165]
- Gu L, Huang ZG, Li WB, Liu YX (2011). Analysis on climatic factors affecting sugarcane meteorological yield in Nanning area during 1980–2007. *J South Agric*, 42 (5): 492–495 (in Chinese with English abstract) [古丽, 黄智刚, 李文宝, 刘永贤(2011). 1980–2007年南宁蔗区甘蔗气象产量变化及影响因子分析. *南方农业学报*, 42 (5): 492–495]
- Hirayama T, Shinozaki K (2010). Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future. *Plant J*, 61 (6): 1041–1052
- Jiang JS, Xie GS, Lin WF, Wang YK, Cai MD, Chen JM (1999). Relationship between meteorologic factors and the height growth of sugarcane and predict model establishment. *Sugarcane*, 6 (1): 1–5 (in Chinese with English abstract) [蒋菊生, 谢贵水, 林位夫, 王岳坤, 蔡明道, 陈俊明(1999). 气象因子与甘蔗生长的关系及其预测模型的建立. *甘蔗*, 6 (1): 1–5]
- Kamiya Y, García-Martínez JL (1999). Regulation of gibberellin biosynthesis by light. *Curr Opin Plant Biol*, 2 (5): 398–403
- Kudo T, Kiba T, Sakakibara H (2010). Metabolism and long-distance translocation of cytokinins. *J Integr Plant Biol*, 52 (1): 53–60
- Li QW, Tang MD, Chen XW (1994). Preliminary studies on induction of some shy- & no-flowering sugarcane varieties. *Sugar Canes*, (1): 17–23 (in Chinese with English abstract) [李奇伟, 唐明德, 陈西文(1994). 一些难开花和不开花的甘蔗品种的花诱导初步研究. *甘蔗糖业*, (1): 17–23]
- Li YR (2010). Modern sugarcane science. In: Yang LT, Li YR (eds). *The Basis of Sugarcane Biology*. Beijing: China Agric Press, 40–80 (in Chinese) [李杨瑞(2010). 现代甘蔗学. 见: 杨丽涛, 李杨瑞编. *甘蔗生物学基础*. 北京: 中国农业出版社, 40–80]
- Li YR, Yang LT, Tan HW, Zhu QZ, Wang WZ, Yang L (2014). Development and progress of sugarcane farming technologies in Guangxi, China. *J South Agric*, 45 (10): 1770–1775 (in Chinese with English abstract) [李杨瑞, 杨丽涛, 谭宏伟, 朱秋珍, 王维赞, 杨柳(2014). 广西甘蔗栽培技术的发展进步. *南方农业学报*, 45 (10): 1770–1775]
- Liang T, Luo YW, Huang X, Qiu LH, Zhou ZG, Wu JM (2015). Effect of different gibberellin concentrations on yield and quality of sugarcane. *Sugar Crops China*, 37 (2): 43–44, 46 (in Chinese with English abstract) [梁澜, 罗亚伟, 黄杏, 丘立杭, 周主贵, 吴建明(2015). 不同浓度赤霉素对甘蔗产量和品质的影响. *中国糖料*, 37 (2): 43–44]
- Liu DT, Jing YP, Li DL, Yu XR, Wang Z (2013). Research advances in plant lateral root development. *Plant Physiol J*, 49 (11): 1127–1137 (in Chinese with English abstract) [刘大同, 荆彦平, 李栋

- 梁, 余徐润, 王忠(2013). 植物侧根发育的研究进展. 植物生理学报, 49 (11): 1127–1137]
- Liu JX, Li S, Tan F, Liu X, He YB, Wu KC, Xiong FQ, Liu LM, Liu HJ, Yu KX, et al (2016). Effects of seed soaking in paclobutrazol on tillering early occurrence and endogenous hormone contents of sugarcane seedlings. *Hunan Agric Sci*, (2): 22–25, 30 (in Chinese with English abstract) [刘俊仙, 李松, 谭芳, 刘欣, 何毅波, 吴凯朝, 熊发前, 刘丽敏, 刘红坚, 余坤兴等(2016). 多效唑浸种对甘蔗分蘖提早萌发及幼苗内源激素含量的影响. 湖南农业科学, (2): 22–25, 30]
- Luo MZ, Liang JN, Li YQ, Tan ZW, Chen PS (2002). The relationship among yield, sugar content and activities of enzymes and hormone contents in leaves of sugarcane. *J South China Agric Univ (Nat Sci)*, 23 (3): 49–51 (in Chinese with English abstract) [罗明珠, 梁计南, 李玉潜, 谭中文, 陈培寿(2002). 甘蔗产量、糖分与叶片酶和激素的关系. 华南农业大学学报(自然科学版), 23 (3): 49–51]
- Nieminen K, Immanen J, Laxell M, Kauppinen L, Tarkowski P, Dolezal K, Tahtiharju S, Elo A, Decourteix M, Ljung K, et al (2008). Cytokinin signaling regulates cambial development in poplar. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105 (50): 20032–20037
- Olszewski N, Sun TP, Gubler F (2002). Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. *Plant Cell*, 14 (Suppl): S61–S80
- Ou ZR, Tan ZK, He Y, Kuang ZM, Chen HL, Mo XH, Huang ZY (2008). The key meteorological factors affecting the sugarcane yield in major production areas in china and their high-low yield indices. *J Anhui Agric Sci*, 36 (24): 10407–10410, 10415 (in Chinese with English abstract) [欧钊荣, 谭宗琨, 何燕, 匡昭敏, 陈汇林, 莫小华, 黄中艳(2008). 影响我国甘蔗主产区甘蔗产量的关键气象因子及其丰欠指标. 安徽农业科学, 36 (24): 10407–10410, 10415]
- Ren XY, Wu MQ, Chen JM, Zhang DP, Gao Y (2016). The molecular mechanisms of phytochrome interacting factors (PIFs) in phytohormone signaling transduction. *Plant Physiol J*, 52 (10): 1466–1473 (in Chinese with English abstract) [任小芸, 吴美琴, 陈建民, 张冬平, 高勇(2016). 光敏色素作用因子PIFs参与植物激素信号转导的分子机制. 植物生理学报, 52 (10): 1466–1473]
- Su GD, Ye ZB, Li YQ, Shen JH (1983). Studies on the accumulation of sucrose in sugarcane. *J South China Agric Coll*, 4 (4): 17–27 (in Chinese with English abstract) [苏广达, 叶振邦, 李玉潜, 沈锦辉(1983). 甘蔗糖分积累规律的研究. 华南农学院学报, 4 (4): 17–27]
- Su YX, Li Z, Sun H (2006). Climate division of sugarcane planting based on GIS in Guangxi. *Chin J Agrometeorol*, 27 (3): 252–255, 259 (in Chinese with English abstract) [苏永秀, 李政, 孙涵(2006). 基于GIS的广西甘蔗种植气候区划. 中国农业气象, 27 (3): 252–255, 259]
- Vasanth S, Shekinah DE, Gupta C, Rakkiyappan P (2012). Tiller production, regulation and senescence in sugarcane (*Saccharum species hybrid*) genotypes. *Sugar Tech*, 14 (2): 156–160
- Wang L, Deng F, Zheng J, Zhao L, Ren WJ, Yang WY (2012). Response of root system growth to low-light stress in *indica* rice. *J Zhejiang Univ (Agric & Life Sci)*, 38 (6): 700–708 (in Chinese with English abstract) [王丽, 邓飞, 郑军, 赵柳, 任万军, 杨文钰(2012). 水稻根系生长对弱光胁迫的响应. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 38 (6): 700–708]
- Wang LP, Fan YH, Ma L, Cai Q, Xia HM (1999). The research on photoperiod induction flowering of sugarcane and their utilization in hybridization. *Sugarcane*, 6 (3): 1–5 (in Chinese with English abstract) [王丽萍, 范源洪, 马丽, 蔡青, 夏红明(1999). 甘蔗光周期诱导开花和杂交利用研究. 甘蔗, 6 (3): 1–5]
- Wang RF, Zhang JW, Lü P, Dong ST, Liu P, Zhao B (2012). Effects of endogenous hormones on tiller development process of different maize varieties. *Sci Agric Sin*, 45 (5): 840–847 (in Chinese with English abstract) [王如芳, 张吉旺, 吕鹏, 董树亭, 刘鹏, 赵斌(2012). 不同类型玉米品种分蘖发生过程中内源激素的作用. 中国农业科学, 45 (5): 840–847]
- Wu JM, Li YR, Yang L, Wang AQ, Yang LT (2009). Relationship between gibberellin-induced internode elongation and endogenous hormone changes in sugarcane. *Chin J Trop Crops*, 30 (10): 1452–1457 (in Chinese with English abstract) [吴建明, 李杨瑞, 杨柳, 王爱勤, 杨丽涛(2009). 赤霉素诱导甘蔗节间伸长与内源激素变化的关系. 热带作物学报, 30 (10): 1452–1457]
- Xing GF, Feng WJ, Niu XL, Zhang CL, Ma JH, Guo PY (2015). Physiological mechanisms in phytohormone regulation of plant lateral root development. *Plant Physiol J*, 51 (12): 2101–2108 (in Chinese with English abstract) [邢国芳, 冯万军, 牛旭龙, 张春来, 马金虎, 郭平毅(2015). 植物激素调控侧根发育的生理机制. 植物生理学报, 51 (12): 2101–2108]
- Xu L, Gao ZQ, An W, Li YL, Guo CC, Jia SQ (2016). Responses of endogenous hormone contents in leaves of main stem in different developmental stages of winter wheat varieties sowed in spring. *Acta Agric Nucl Sin*, 30 (2): 355–363 (in Chinese with English abstract) [徐澜, 高志强, 安伟, 李彦良, 郭晨晨, 贾苏卿(2016). 冬麦春播小麦发育进程中主茎叶片内源激素的变化. 核农学报, 30 (2): 355–363]
- Yamauchi Y, Ogawa M, Kuwahara A, Hanada A, Kamiya Y, Yamaguchi S, Achard P (2004). Activation of gibberellin biosynthesis and response pathways by low temperature during imbibition of *Arabidopsis thaliana* seeds. *Plant Cell*, 16 (2): 367–378
- Yang S, Jiang Y, Zhou HK, Ye CH, Yang JW, Mo JJ (2015). Canonical correlation analysis between photosynthetic parameters and quality characteristics in sugarcane. *Crops*, (4): 69–73 (in Chinese with English abstract) [杨善, 江永, 周鸿凯, 叶昌辉, 杨杰文, 莫俊杰(2015). 甘蔗光合因子与品质性状的典型相关性分析. 作物杂志, (4): 69–73]
- Ye YP (2006). Study on the physiological and biochemical mechanism on ethephon promoting effective tillering in sugarcane [dissertation]. Nanning: Guangxi University [叶燕萍(2006). 乙烯利促进甘蔗有效分蘖的生理生化机理研究[学位论文]. 南宁: 广西大学]
- Yu M, Xu H, Zhang H, Zhu Y (2016). Regulation of plant hormones on seed dormancy and germination. *Plant Physiol J*, 52 (5): 599–606 (in Chinese with English abstract) [于敏, 徐恒, 张华, 朱英(2016). 植物激素在种子休眠与萌发中的调控机制. 植物生理学报, 52 (5): 599–606]
- Zhang BQ, Zhou S, Yang CF, Huang YX, Zhou H, Luo T, Duan WX, Deng YC, Li YR, Zhang GM (2016). Biomass and root charac-

- ters of intergeneric hybrid *Erianthus arundinaceus* × *Saccharum spontaneum* and its progeny. *J China Agric Univ*, 21 (4): 18–25 (in Chinese with English abstract) [张保青, 周珊, 杨翠芳, 黄玉新, 周会, 罗霆, 段维兴, 邓宇驰, 李杨瑞, 张革民(2016). 斑割复合体及其杂交后代的生物量及根系性状. *中国农业大学学报*, 21 (4): 18–25]
- Zhang JW, Dong ST, Wang KJ, Hu CH, Liu P (2006). Effects of shading on the growth, development and grain yield of summer maize. *Chin J Appl Ecol*, 17 (4): 657–662 (in Chinese with English abstract) [张吉旺, 董树亭, 王空军, 胡昌浩, 刘鹏(2006). 遮荫对夏玉米产量及生长发育的影响. *应用生态学报*, 17 (4): 657–662]
- Zhong C, Zhou C, Xu MY (2012). Forecasting growth and development stage of sugarcane based on physiological development time. *Sugar Crops China*, (2): 49–51 (in Chinese with English abstract) [钟楚, 周臣, 徐梦莹(2012). 甘蔗生理发育时间及生育期预测. *中国糖料*, (2): 49–51]
- Zhou WX, Li CH, Liu TX, Wang XP, Yan ZG (2013). Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance. *Acta Ecol Sin*, 33 (14): 4315–4323 (in Chinese with English abstract) [周卫霞, 李潮海, 刘天学, 王秀萍, 闫志广(2013). 弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响. *生态学报*, 33 (14): 4315–4323]
- Zhu JJ, Li YR (2014). Effects of long-time chill acclimation on light use efficiency in photosynthesis of chewing cane *Saccharum officinarum* L. cv. Badila. *Chin J Ecol*, 33 (12): 3295–3299 (in Chinese with English abstract) [朱俊杰, 李杨瑞(2014). 长期冷适应对黑皮果蔗光合光能利用的影响. *生态学杂志*, 33 (12): 3295–3299]
- Zhu XF, Li DH, Wang LH, Zhang YX, Gao Y, Wei X, Zhang XR (2015). Phytohormone change during plant height development between dwarfs and high genotypes of sesame. *Chin J Oil Crop Sci*, 37 (1): 83–89 (in Chinese with English abstract) [朱晓凤, 黎冬华, 王林海, 张艳欣, 高媛, 魏鑫, 张秀荣(2015). 矮秆与高秆芝麻株高建成中内源激素含量变化比较分析. *中国油料作物学报*, 37 (1): 83–89]
- Zou CM, Wang YQ, Can WD, Liu Y, Zhang XH, Tang S (2015). Response of photosynthesis and growth to weak light regime in different adzuki bean (*Vigna angularis*) varieties. *Chin J Appl Ecol*, 26 (12): 3687–3692 (in Chinese with English abstract) [邹长明, 王允青, 曹卫东, 刘英, 张晓红, 唐杉(2015). 不同品种小豆光合作用和生长发育对弱光的响应. *应用生态学报*, 26 (12): 3687–3692]

Weak-light stress caused by shading affects the balance of endogenous hormones in leaves and tillering process in sugarcane (*Saccharum officinarum*)

QIU Li-Hang^{1,2,3,*}, LI Qiang^{4,*}, HUANG Xing^{1,2,3}, LUO Han-Min^{1,2,3}, CHEN Rong-Fa^{1,2,3}, WU Jian-Ming^{1,2,3,**}, LI Yang-Rui^{1,3,**}, CHEN Dong⁵

¹Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; ²Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; ³Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture, and Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning 530007, China; ⁴Guangdong Zhanjiang Science Research Institute of Agricultural Reclamation, Zhanjiang, Guangdong 524086, China; ⁵Laibin Center for Food and Drug Control, Laibin, Guangxi 546100, China

Abstract: Light is a very important environmental factor for the growth and development of sugarcane (*Saccharum officinarum*), including sugarcane tillering. Sufficient light during the growing period is the basis of tiller formation and growth in sugarcane. However, light conditions in sugarcane field are always limited by topography and geomorphology in Guangxi province, furtherly influence sugarcane tillering, millable stalks from available tillers and cane yield in production. To determine the effects of tillering formation and growth under weak-light environment in sugarcane, as well as endogenous hormone content, *S. officinarum* cv. 'GT29' seedlings were used to study the effects of different weak-light stresses on endogenous hormone contents in leaves and tillering process. The different weak-light stresses of 20.0%, 52.0% and 71.2% shading (respectively named as GS, GS1 and GS2) resulted from nylon nets (80.0% and 60.0% light transmittance) mulching from tillering stage to initial elongation stage. The results showed that the growth and development of sugarcane tillers were delayed under weak-light conditions, and the tillering process was postponed at least 15 days. The tillers did not produce or died during their growing under the weak light treatments (GS1 and GS2). The plant high, stalk diameter, fresh and dry weights of plants and tillering rate were significantly decreased while the total chlorophyll content was increased under different weak light conditions. Further study found that the content levels of hormones showed ZR>IAA>ABA>GA₃ in leaves. The contents of IAA, ABA and ZR and the ratios of IAA/ABA and IAA/ZR in leaves significantly increased while the GA₃ content and the GA₃/ABA ratio in leaves firstly decreased and then increased under weak-light stress at tillering stage. The changes in hormone contents and ratios may be one of key factors for inhibiting the process of tillering in sugarcane.

Key words: *Saccharum officinarum*; tillering; weak-light stress; agronomic trait; endogenous hormone

Received 2016-10-08 Accepted 2017-02-15

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 31360312 and 31460102), the Natural Science Foundation of Guangxi, China (Grant Nos. 2016GXNSFBA380034, 2015GXNSFDA139011, 2014GXNSFAA118128 and 2013GXNSFAA019073), the Projects of Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement (Grant No. 15-140-13), the Projects of Science and Technology Program in Guangxi Province (Grant No. Guikegong 1598006-1-2E), the Funds of Guangxi Bagui Scholars and Special Experts (Grant No. 2013), the Funds of Guangxi Sugarcane Innovation Team of the National Agricultural Industry Technology System (Grant No. gjnytxgxcxtd-03), and the Projects of Guangxi Academy of Agricultural Sciences (Grant Nos. 2015YM13 and 2015YT02).

*Co-first author.

**Co-corresponding author (E-mail: wujianming2004@126.com; liyr@gxaas.net).