



## TIBA 对不同耐荫性大豆套作苗期生长和倒伏率的影响

龚万灼, 杜成章, 龙珏臣, 王 萍, 陈 红, 王 强, 张继君

(重庆市农业科学院 特色作物研究所, 重庆 402160)

**摘 要:**三碘苯甲酸(TIBA)是一种生长素运输抑制剂,具有抑制顶端生长的作用。为分析套作模式中,喷施 TIBA 对不同耐荫性大豆品种幼苗期生长和倒伏的调控效应,本研究设置 50, 100, 150, 200 和 250  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  的 TIBA 浓度处理,以清水和无遮荫为对照处理,调查大豆形态、干物质和倒伏性状。结果表明:与无荫蔽对照相比,荫蔽下大豆株高增加,茎粗、节数、分枝数、SPAD、干物质则显著降低,倒伏率显著增加。喷施 TIBA 后,大豆株高显著降低,茎粗、节数无改变,分枝数增加,叶面积下降,叶片 SPAD 无变化,干物质下降,大豆倒伏率显著降低。套作模式下大豆幼苗期 TIBA 喷施的适宜浓度为 50 ~ 100  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,且适宜浓度与品种自身耐荫能力有关,强耐荫品种南豆 12 适宜浓度为 50  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,而荫蔽敏感型大豆 XBM 为 100  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。浓度高于 150  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理虽然更有利于降低株高、减少倒伏,但大豆干物质积累量偏低,不利于培育壮苗。

**关键词:**大豆;套作;三碘苯甲酸;耐荫性;倒伏

## Effects of Triiodobenzoic Acid (TIBA) on Growth and Lodging Rate of Different Shade-tolerant Soybean During Vegetative Stages Under Relay Intercropping

GONG Wan-zhuo, DU Cheng-zhang, LONG Jue-chen, WANG Ping, CHEN Hong, WANG Qiang, ZHANG Ji-jun

(Research Institute of Characteristic Crops, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** Triiodobenzoic acid (TIBA) is an auxin transportation inhibitor, and can be used to inhibit apical growth. To study the effects of TIBA at early-seedling stages on growth and lodging of soybean, the experiment was conducted by spraying TIBA solution with different concentrations (50, 100, 150, 200 and 250  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), and the water and soybean grown without shade were used as two controls. We measured the morphological of dry matter accumulation and lodging characteristics. The results showed that compared with those plants without shade, plant height increased significantly, while stem diameter, nodes, branches, SPAD and dry mass accumulation reduced significantly, finally lodging rate increased significantly under shade. Under the treatments of spraying TIBA, plant height reduced, stem diameter and nodes didn't change, branches increased, leaf area reduced, SPAD didn't change, dry mass accumulation reduced, and the lodging rate reduced significantly. The appropriate concentration of TIBA solution applied on soybean seedling under relay intercropping was 50 to 100  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and the concentration was correlated with shade tolerance of soybean variety. For shade-tolerant variety Nandou 12, the appropriate concentration of TIBA was 50  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and for shade-sensitive variety, the concentration was 100  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Although plant height and lodging could be reduced under the application of higher TIBA concentrations over 150  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , the dry matter accumulation could be inhibited, therefore the treatment of higher TIBA concentration was harmful for cultivating healthy seedlings.

**Keywords:** Soybean; Relay intercrop; Triiodobenzoic acid; Shade-tolerant; Lodging rate

大豆是我国一种重要经济作物,在南方地区广泛以间套作形式与高秆作物构成多熟复合种植系统。近年来在我国种植业结构调整的大背景下,玉米-大豆套作成为西南地区主推的种植方式,推动了全国大豆发展,有效增加了大豆供给,显著提高了区域粮食生产能力<sup>[1]</sup>。在玉米-大豆套作模式中,大豆出苗后处于严重荫蔽环境,受自身避荫反应的调控,大豆植株纤细、易倒伏、不利于培育壮苗,限制了花后物质积累和产量形成,也不利于成熟期机械化收获。

目前在玉米-大豆套作生产上最常使用烯效唑拌种或苗期喷施技术进行控高防倒<sup>[2-4]</sup>。烯效唑是一种赤霉素合成抑制剂,在套作大豆上应用时可

以起到降低株高、增加茎粗、减少倒伏作用,从而最终提高产量。但植物避荫反应的首要途径为诱导生长素大量合成并向下极性运输,从而表现出下胚轴伸长等避荫反应性状<sup>[5]</sup>。因此有必要研究是否可通过调节套作大豆生长素合成或极性运输,在更上游调控环节减少大豆避荫反应。

三碘苯甲酸(Triiodobenzoic acid, TIBA)是一种抑制生长素极性运输的植物生长调节剂,通过抑制极性运输削弱生长素的效用,达到抑制植株顶端生长,促使植株矮化和横向生长的作用。有报道表明,在大豆花期喷施 100 ~ 160  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  的 TIBA,可抑制植株茎端伸长、防止倒伏、促进早熟、减少花英脱落、提高产量<sup>[6]</sup>。在大豆第三节龄期、始花期、始

收稿日期:2019-02-23

基金项目:重庆市科研院所绩效激励引导专项(cstc2017jxjl80028);国家重点研发计划(2017YFD030170402);国家自然科学基金(31701371)。

第一作者简介:龚万灼(1983-),男,博士,助理研究员,主要从事大豆栽培生理研究。E-mail: gongwanzhuo@163.com。

通讯作者:张继君(1968-),女,学士,研究员,主要从事豆类种质资源利用及遗传育种研究。E-mail: zhangjijun98765@126.com。

莢期噴施 TIBA 均能够显著降低株高,增加茎粗<sup>[7]</sup>。套作荫蔽下大豆苗期株高显著增加,倒伏严重,但目前未有 TIBA 在套作大豆苗期控高防倒上的应用报道,对于是否能够通过生长素途径调控大豆避荫反应,并制定相应的套作大豆化控调控技术也尚不清楚。因此,本试验以田间套作大豆为对象,以确定幼苗期噴施 TIBA 是否能够起到调节抑制株高、降低倒伏的作用,为新的套作大豆苗期化控抗倒技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验选择耐荫型品种南豆 12 和荫蔽敏感型大豆 XBM。TIBA 为 Sigma-Aldrich 西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司生产。

1.2 试验设计

试验在重庆市永川区卫星湖街道南华村进行,采用大田随机区组试验,小区面积 12 m<sup>2</sup> (2.4 m × 5 m),3 次重复。玉米-大豆套作模式中玉米于 2018 年 3 月 25 日播种,采用宽窄行种植模式,窄行间距 0.4 m,宽行间距 1.6 m,株距 0.2 m,即密度为 5 万株·hm<sup>-2</sup>;大豆于 6 月 15 日播种,播于玉米宽行内,与玉米间距 0.6 m,种植 2 行,行距 0.4 m,穴距 0.2 m,每穴 2 苗,即密度为 10 万株·hm<sup>-2</sup>。在大豆第一片复叶展开时(7 月 2 日)进行 TIBA 噴施处理,噴施药量为 375 kg·hm<sup>-2</sup>。TIBA 设置 5 个水平,分别为浓度为 50,100,150,200 和 250 mg·kg<sup>-1</sup>,即为 T1 ~ T5 处理,以不噴施 TIBA (T0) 处理和非荫蔽单作(CK)的大豆植株作为双对照。试验期间玉米和大豆的田间管理按照常规水平进行,玉米于 7 月 26 日收获,此时为噴施 TIBA 后第 24 天。

各小区选择 8 ~ 10 株,调查植株生长情况和倒

伏率。于噴施后 7,14 和 21 d 测量各处理的株高、茎粗、节数、SPAD 和倒伏情况;于噴施后 21 d 测量分枝数、叶面积和干物质。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株形态 各小区取样后测量株高、第一节间中部最宽处茎粗、主茎节数和分枝数,其中分枝以具有 2 节为标准。植株地上部叶片采集后置于平板面积扫描仪(Canon Lide 120)捕捉图像,利用 Image J 软件统计单株总叶面积。

1.3.2 叶片 SPAD 和干物质积累 用 SPAD 502 (Konica Minolta)测定大豆苗顶部最新全展叶顶小叶中部区域的 SPAD。整株植株的全部样品 75℃ 烘干称重,计算地上部干物质。

1.3.3 倒伏率 统计实际倒伏植株占该小区全部植株的比率,植株倒伏以主茎与地面的夹角 ≤ 30° 为标准<sup>[8]</sup>。

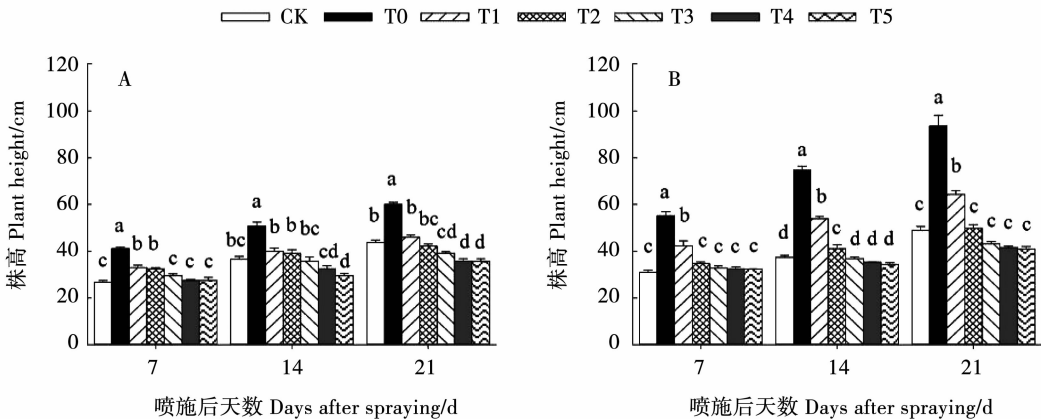
1.4 数据分析

利用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对大豆形态特征的影响

2.1.1 株高 套作荫蔽 T0 对照下大豆的株高较 CK 显著增高。各噴施 TIBA 处理后显著抑制株高,且随浓度的提高控制株高伸长的效应越强。噴施 TIBA 7 d 后即表现出降低株高的效应,且降高效应持续整个荫蔽期。至噴施后 21 d 时,两个品种所有 TIBA 处理的株高显著低于 T0 对照。南豆 12 的 T1 ~ T5 较 T0 处理分别对照下降 23.5%、29.7%、35.1%、40.2% 和 40.5%,XBM 分别为 31.3%、46.9%、53.8%、55.6% 和 56.3%。品种间株高存在显著差异,荫蔽敏感型品种 XBM 的株高显著高于耐荫品种南豆 12(图 1)。



A:南豆 12;B:XBM。不同小写字母表示同一品种不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。  
A;Nandou 12;B:XBM. Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ) between treatments in individual variety. The same below.

图 1 套作荫蔽下噴施 TIBA 对大豆株高的影响  
Fig. 1 Effects of TIBA spraying on plant height under shade in relay intercropping

2.1.2 茎粗 套作荫蔽 T0 处理的大豆茎粗较非荫蔽 CK 处理显著下降,且持续整个荫蔽期。两个品种各喷施 TIBA 处理的茎粗均有小幅增加,但与 T0

相比差异不显著。喷施 TIBA 后 21 d,品种间茎粗存在显著差异,南豆 12 的茎粗显著高于 XBM(图 2)。

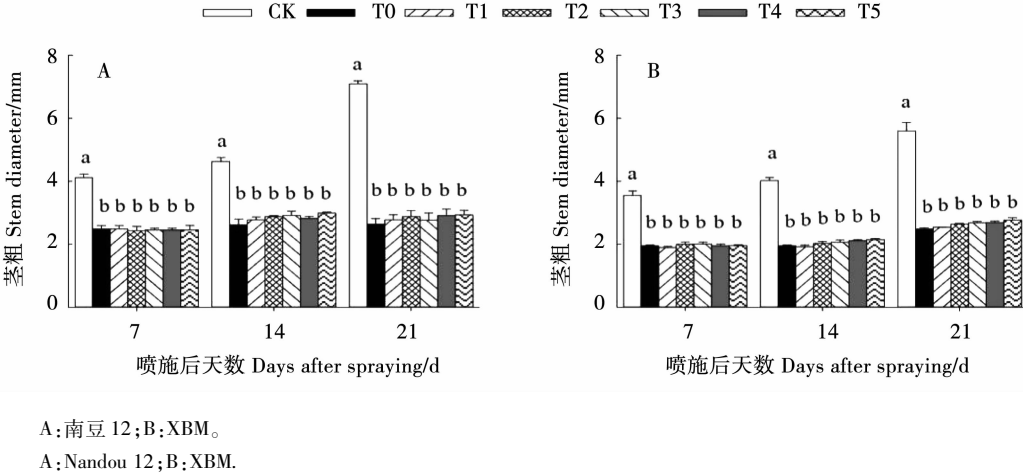


图 2 套作荫蔽下喷施 TIBA 对大豆茎粗的影响

Fig. 2 Effects of TIBA spraying on stem diameter under shade in relay intercropping

2.1.3 节数 荫蔽 T0 处理大豆主茎节数较 CK 处理下降。喷施 TIBA 后 21 d,各 TIBA 处理对节数影响的差异不显著,各处理在试验期间与 T0 对照差异不显著。敏感型大豆 XBM 的节数降低效应出现较早,在喷施后 14 d 时节数即表现显著降低,喷施

后 21 d 各 TIBA 处理与 T0 对照间差异不显著。耐荫型大豆南豆 12 仅在喷施后 21 d 的 T5 处理( $250\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )显著低于 CK,其余处理间差异不显著。喷施 TIBA 后 21 d 品种间节数存在显著差异,南豆 12 的节数显著高于 XBM(图 3)。

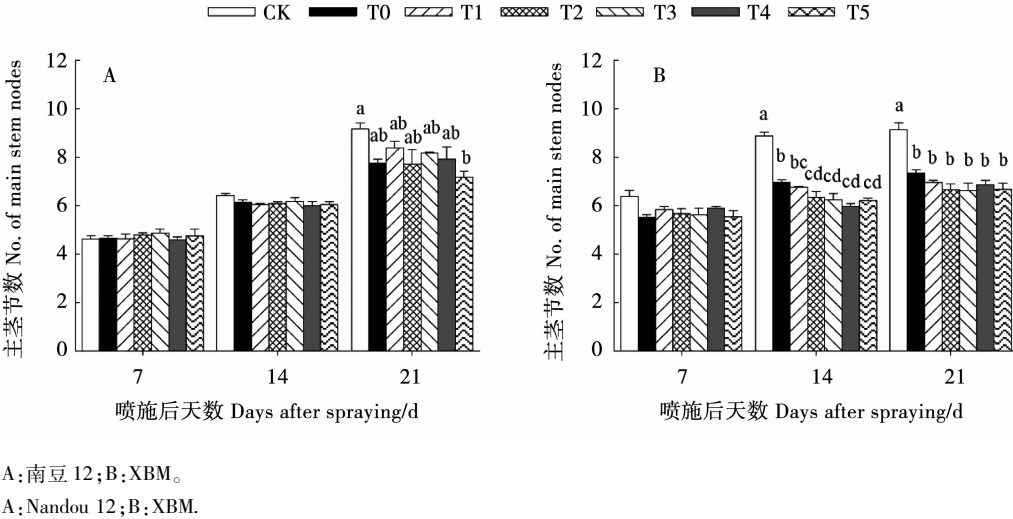


图 3 套作荫蔽下喷施 TIBA 对大豆主茎节数的影响

Fig. 3 Effects of TIBA spraying on number of nodes of main stem under shade in relay intercropping

2.1.4 分枝数 各处理大豆植株在荫蔽期结束前的分枝数如表 1 所示。喷施 TIBA 对两个品种的分枝数均有促进作用,且促进效果随 TIBA 浓度的增加而提高。品种间分枝数存在显著差异,南豆 12 的分枝数显著高于 XBM。不同品种之间对荫蔽和 TIBA 的表现也存在不同,南豆 12 品种本身分枝数较多,套作荫蔽 T0 对照处理分枝数显著下降,喷施 TIBA 后分枝数较 T0 处理增多,在 T4 ( $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 及以上浓度处理时分枝数回升至与 CK 处理相同水平。XBM 品种自身分枝数较低,荫蔽 T0 处理下分枝数无变化,在 T2 处理 ( $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 时分枝数显

著高于 T0 和 CK 对照,在 T3 及更大 TIBA 浓度处理时分枝数继续显著增加。

2.1.5 叶面积 两个品种在荫蔽 T0 处理下的苗期单株叶面积较 CK 处理均显著下降。喷施 TIBA 处理显著降低两个品种的面积,且下降幅度随 TIBA 浓度的增加而增大。与各自 T0 相比,南豆 12 的 T1 ~ T5 处理的叶面积分别下降 25.4%、32.0%、45.4%、48.9% 和 48.9%,XBM 的 T1 ~ T5 处理分别下降 14.0%、22.5%、22.7%、23.6% 和 25.8%。品种间叶面积存在显著差异,南豆 12 的叶面积显著高于 XBM(表 1)。

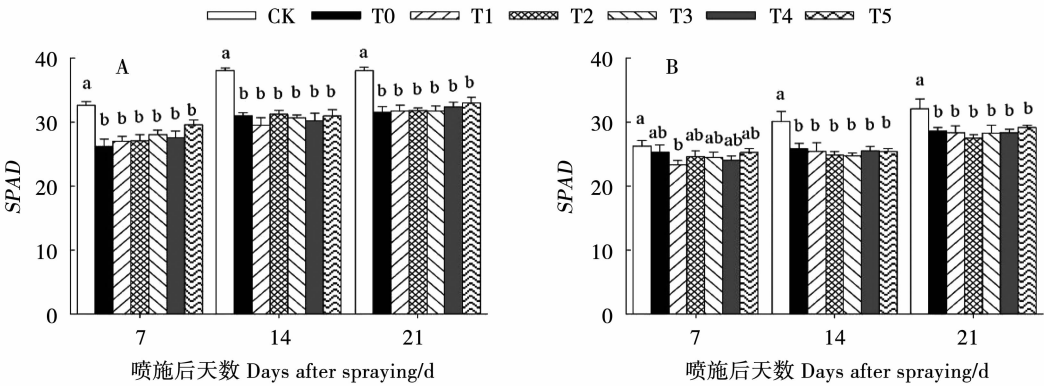
表 1 套作荫蔽下喷施 TIBA 对大豆植株分枝数和叶面积的影响

Table 1 Effects of TIBA spraying on number of branches and leaf area per plant under shade in relay intercropping							
品种 Variety	处理 Treatment	分枝数 Branches	单株叶面积 Leaf area per plant/cm <sup>2</sup>	品种 Variety	处理 Treatment	分枝数 Branches	单株叶面积 Leaf area per plant/cm <sup>2</sup>
南豆 12 Nandou 12	CK	2.23 ± 0.32 a	358.73 ± 8.34 a	XBM	CK	0.27 ± 0.15 c	266.55 ± 6.77 a
	T0	1.33 ± 0.15 b	257.45 ± 7.47 b		T0	0.37 ± 0.03 c	180.48 ± 4.36 b
	T1	1.33 ± 0.13 b	192.05 ± 5.57 c		T1	0.53 ± 0.09 c	155.20 ± 5.89 c
	T2	1.37 ± 0.15 b	175.17 ± 6.37 c		T2	1.57 ± 0.22 b	139.79 ± 2.86 d
	T3	1.53 ± 0.03 b	140.65 ± 2.30 d		T3	2.40 ± 0.06 a	139.60 ± 4.28 d
	T4	1.83 ± 0.09 ab	131.43 ± 4.11 d		T4	2.37 ± 0.15 a	137.93 ± 1.96 d
	T5	1.83 ± 0.15 ab	131.53 ± 2.38 d		T5	2.47 ± 0.07 a	133.91 ± 3.22 d

2.2 不同处理对大豆 SPAD 和干物质的影响

2.2.1 SPAD 套作荫蔽 T0 下大豆叶色 SPAD 较非荫蔽 CK 对照降低。喷施 TIBA 的各处理叶片 SPAD 略有上升,但与 T0 处理差异不显著。喷施 TIBA 21 d

后,两个品种的各 TIBA 处理均显著低于各自非荫蔽 CK 对照处理,而与 T0 处理差异不显著。品种间 SPAD 也存在显著差异,各处理和时期南豆 12 的 SPAD 显著高于 XBM(图 4)。



A: 南豆 12; B: XBM。  
A: Nandou 12; B: XBM.

图 4 套作荫蔽下喷施 TIBA 对大豆叶片 SPAD 的影响

Fig. 4 Effects of TIBA spraying on SPAD of leaves under shade in relay intercropping

2.2.2 干物质 两个品种在荫蔽 T0 处理下的苗期单株干物质积累量较 CK 对照均显著下降,喷施 TIBA 各处理显著降低两个品种的干物质,且下降幅度随 TIBA 浓度的增加而增大。与各品种 T0 处理相比,南豆 12 品种 T1 ~ T5 处理的干物质分别下降

9.3%、23.9%、47.3%、49.6% 和 50.0%, XBM 品种 T1 ~ T5 处理分别下降 13.3%、28.9%、30.1%、36.0% 和 36.0%。品种间干物质比较,南豆 12 显著高于 XBM(图 5)。

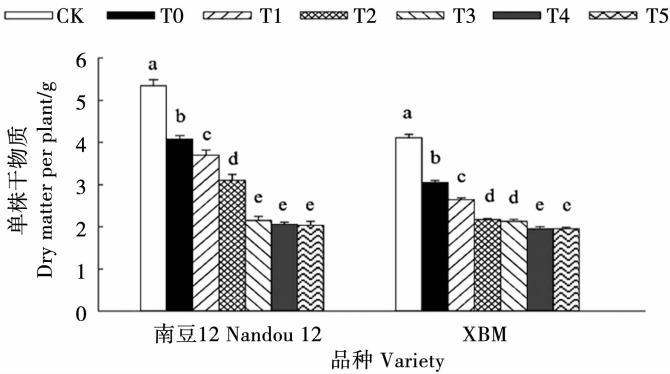
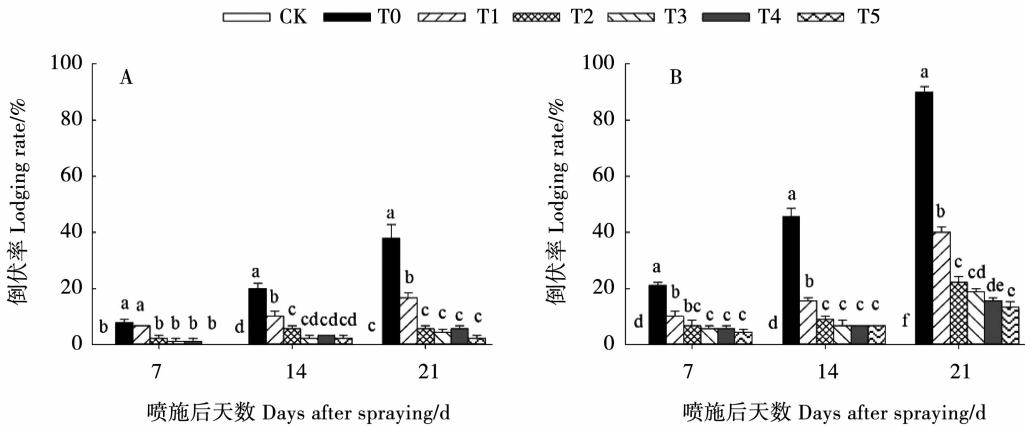


图 5 套作荫蔽下喷施 TIBA 对大豆干物质积累的影响

Fig. 5 Effects of TIBA spraying on dry mass accumulation of leaves under shade in relay intercropping

2.3 不同处理对不同耐荫性大豆倒伏率的影响

大豆倒伏率在荫蔽期间逐渐增加,喷施 TIBA 后 21 d 的倒伏率最高。喷施 TIBA 处理后大豆倒伏率在荫蔽期间均显著下降,且倒伏率随浓度增加而逐渐下降。套作荫蔽下 T0 处理的大豆倒伏率在试验期间逐渐增加,而 CK 处理在试验期间无倒伏。



A:南豆 12;B:XBM。  
A:Nandou 12;B:XBM.

图6 套作荫蔽下喷施 TIBA 对大豆植株倒伏率的影响

Fig. 6 Effects of TIBA spraying on lodging rate of plants under shade in relay intercropping

3 讨论

本研究中套作荫蔽下 T0 处理与单作 CK 处理相比,大豆苗期出现主茎伸长、株高增加情况,造成严重倒伏,这与之前的报道相同<sup>[9-11]</sup>。大豆在套作荫蔽环境下出现的这些性状变化属于植物的避荫反应。避荫反应是植物摆脱荫蔽的一种向上生长行为,主要表现为下胚轴、茎、叶柄延长,分枝减少,开花提前,以及叶片变小等<sup>[12-13]</sup>。研究表明植物在荫蔽下生长素主要通过顶部幼嫩叶片大量合成,再外向运输至叶柄及下胚轴<sup>[14]</sup>。因此提高大豆耐荫性可从生长素合成和运输环节进行研究,创制特异材料或外源调控,减少荫蔽对大豆的影响。

TIBA 作为一种生长素运输抑制剂,在本研究中表现出显著的抑制株高作用,将套作下的株高降低到与单作 CK 对照相当甚至更低的水平。从茎粗和主茎节数来看,荫蔽下 TIBA 处理未使大豆茎粗出现显著提升,节数下降后无显著恢复,这与已有报道相同<sup>[7]</sup>,说明荫蔽下大豆主茎器官分化进程受影响后是不可逆的,无法在后期恢复。喷施 TIBA 处理能够显著减少套作大豆苗期倒伏情况。但不同材料之间对荫蔽的反应和倒伏具有显著差异,荫蔽敏感型材料 XBM 在荫蔽下株高伸长明显,株高倒伏率接近 90%,而耐荫材料南豆 12 本身株高较低,荫蔽下株高延伸程度也相对较低。结合株高、茎粗、

品种间比较结果为敏感型大豆 XBM 的倒伏率显著高于耐荫型大豆南豆 12。喷施 TIBA 21 d 时 XBM 品种 T0 处理倒伏率高达 90.0%,T1 ~ T5 处理分别为 40.0%、22.2%、18.9%、15.6% 和 13.3%,南豆 12 品种 T0 处理倒伏率为 37.8%,T1 ~ T5 处理分别为 16.7%、5.6%、4.4%、5.6% 和 2.2% (图 6)。

节数和倒伏率变化来看,喷施 TIBA 处理主要通过抑制株高实现了减少倒伏。但 TIBA 作为生长素运输抑制剂,如何通过套作大豆内源生长素合成与运输影响大豆主茎伸长需要进一步研究。

套作荫蔽除了影响大豆形态性状外,也从光能利用角度影响大豆生长。套作大豆受荫蔽影响,在苗期的光合作用下降,光合作用降低<sup>[15-16]</sup>。本研究发现套作荫蔽下大豆叶片 SPAD 下降,而喷施 TIBA 处理对 SPAD 无影响。同时大豆叶面积在荫蔽下也下降,因此荫蔽下 TIBA 处理尽管有效降低了大豆倒伏,但无法通过叶面积或者叶片叶色值途径提高大豆的光能捕获和光能转化,因此最终大豆的干物质依然显著下降。此外,本研究中发现 TIBA 能有效增加大豆分枝数,这与目前生产上采用烯效唑处理的技术效应相同<sup>[17]</sup>。但同时本研究调查的仅是套作大豆营养生长期的分枝状况,苗期的分枝是否能够最终形成有效结荚的分枝尚有待研究。

从不同 TIBA 浓度间的作用效应差异分析,50 ~ 100 mg·kg<sup>-1</sup>的施用浓度具有较为理想的控高防倒效果。而在不同荫蔽敏感程度品种之间也存在一定差异,耐荫品种南豆 12 的株高低、倒伏少,因此 50 mg·kg<sup>-1</sup>的喷施浓度即可对其起到较为理想的控高防倒效果,而对于荫蔽敏感型材料 XBM,则需要更高 TIBA 浓度才能发挥相应效果。过高的 TIBA 浓度尽管能够将倒伏率控制到相当低的水平,但对

大豆苗期的生长抑制作用过强,造成长期的叶面积过小,不利于弱光下光能捕获,限制了干物质的积累。

4 结 论

套作大豆幼苗期喷施 TIBA 能够显著降低株高、减少倒伏和促进分枝,但对茎粗、节数、叶面积和叶片叶色值作用效果不显著,无法促进荫蔽下的干物质积累。玉米-大豆套作模式下大豆幼苗期喷施 50~100 mg·kg<sup>-1</sup> TIBA 具有较理想的控高防倒效果,但与品种自身耐荫能力有关,强耐荫品种南豆 12 的适宜浓度为 50 mg·kg<sup>-1</sup>,而荫蔽敏感型品种 XBM 需增加浓度至 100 mg·kg<sup>-1</sup>。TIBA 浓度超过 150 mg·kg<sup>-1</sup>时会抑制大豆干物质积累。

参考文献

[1] 杨文钰,雍太文,任万军,等. 发展套作大豆,振兴大豆产业[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 1-7. (Yang W Y, Yong T W, Ren W J, et al. Develop relay-planting soybean, revitalize soybean industry[J]. Soybean Science, 2008, 27(1): 1-7.)

[2] 龚万灼,张正翼,杨文钰,等. 烯效唑干拌种对大豆形态特征和产量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(3): 369-372, 376. (Gong W Z, Zhang Z Y, Yang W Y, et al. Effect of uniconazole for dry seed treatment on morphological characteristics and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(3): 369-372, 376.)

[3] 梁建秋,于晓波,张明荣,等. 化控和密度对套作大豆南黑豆 20 农艺性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(6): 876-882. (Liang J Q, Yu X B, Zhang M R, et al. Effect of various chemical treatments and density on agronomic traits and yield of inter-planting soybean cultivar Nanheidou 20[J]. Soybean Science, 2018, 37(6): 876-882.)

[4] 闫艳红,杨文钰,张静,等. 叶面喷施烯效唑对大豆产量及品质的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 251-254. (Yan Y H, Yang W Y, Zhang J, et al. Effect of spraying uniconazole on soybean yield and quality[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4): 251-254.)

[5] Korver R A, Koevoets I T, Testerink C. Out of shape during stress: A key role for auxin[J]. Trends in Plant Science, 2018, 23(9): 783-793.

[6] 赵作民,谭国强. 矮壮素(CCC)和三碘苯甲酸(TIBA)在大豆栽培中的应用[J]. 植物生理学通讯, 1997(6): 484-485. (Zhao Z M, Tan G Q. Application of chlormequat chloride(CCC) and triiodobenzoic acid (TIBA) on soybean cultivation[J]. Plant Physiology Communications, 1997(6): 484-485.)

[7] 王昊文. 三种植物生长调节剂对黑豆生长发育的调控效应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018: 16-18. (Wang H W. Regulatory effects of three plant growth regulators on growth and development of black beans[D]. Yangling: Northwest A&F

University, 2018: 16-18.)

[8] 周蓉,王贤智,张晓娟,等. 大豆种质倒伏抗性评价方法研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(4): 484-489. (Zhou R, Wang X Z, Zhang X J, et al. Evaluation method of lodging resistance in soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 484-489.)

[9] 陈小林,杨文钰,陈忠群,等. 不同施氮水平下净,套作大豆茎秆特征比较研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 101-104. (Chen X L, Yang W Y, Chen Z Q, et al. Characteristics of stem between sole-cropping and relay-cropping soybean under different nitrogen applied levels[J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 101-104.)

[10] 刘卫国,蒋涛,余跃辉,等. 大豆苗期茎秆对荫蔽胁迫响应的生理机制初探[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 141-146. (Liu W G, Jiang T, She Y H, et al. Preliminary study on physiological response mechanism of soybean (*Glycine max*) stem to shade stress at seedling stage[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(2): 141-146.)

[11] 王一,杨文钰,张霞,等. 不同生育时期遮阴对大豆形态性状和产量的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10): 1871-1879. (Wang Y, Yang W Y, Zhang X, et al. Effects of shading at different growth stages on different traits and yield of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(10): 1871-1879.)

[12] Vandenbussche F, Pierik R, Millenaar F F, et al. Reaching out of the shade[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2005, 8(5): 462-468.

[13] Franklin K A. Shade avoidance[J]. New Phytologist, 2008, 179(4): 930-944.

[14] de Wit M, Lorrain S, Fankhauser C. Auxin-mediated plant architectural changes in response to shade and high temperature[J]. Physiologia Plantarum, 2014, 151(1): 13-24.

[15] 刘婷,刘卫国,任梦露,等. 遮荫程度对不同耐荫性大豆品种光合及抗倒程度的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1466-1475. (Liu T, Liu W G, Ren M L, et al. Effects of shade degrees on photosynthesis and lodging resistance degree of different shade tolerance soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(8): 1466-1475.)

[16] 崔亮,苏本营,杨峰,等. 不同玉米-大豆带状套作组合条件下光合有效辐射强度分布特征对大豆光合特性和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(8): 1489-1501. (Cui L, Su B Y, Yang F, et al. Effects of photosynthetically active radiation on photosynthetic characteristics and yield of soybean in different maize/soybean relay strip intercropping systems[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(8): 1489-1501.)

[17] 万燕,闫艳红,杨文钰. 不同氮肥水平下叶面喷施烯效唑对套作大豆生长和氮代谢的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(2): 185-196. (Wan Y, Yan Y H, Yang W Y. Effects of foliar spraying uniconazole on growth and nitrogen metabolism of relay strip intercropping soybean under different nitrogen levels[J]. Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences), 2012, 38(2): 185-196.)