

杨 柳, 邓杰勇, 王青青, 等. 表面活性素对不结球白菜叶片生长和硼吸收的促进[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1134-1140.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.029

## 表面活性素对不结球白菜叶片生长和硼吸收的促进

杨 柳<sup>1</sup>, 邓杰勇<sup>1</sup>, 王青青<sup>1</sup>, 吴俊贤<sup>1</sup>, 丁仕奇<sup>2</sup>, 孙 文<sup>2</sup>

(1. 合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽帝元生物科技有限公司, 安徽 合肥 230088)

**摘要:** 以不结球白菜为试验材料, 对其叶面喷施不同浓度表面活性素和硼溶液, 研究表面活性素对其叶片通透性、气孔开度、蜡质层厚度及生长和硼吸收的影响。叶片的通透性随着表面活性素浓度的增加而提高, 当表面活性素浓度 $\geq 0.400$  g/L时, 膜透性增加显著; 表面活性素浓度为 0.400 g/L时, 不结球白菜叶片气孔开度达到最大; 蜡质层的溶解程度随表面活性素浓度的增加而逐渐增加。喷施表面活性素的不结球白菜根长、株高和叶绿素含量都明显增加, 在喷施浓度为 0.040 g/L 和 0.400 g/L 的表面活性素不同次数后, 不结球白菜根长、株高和总叶绿素最高增长率分别达到 62.38%、22.63%、42.94% 和 48.95%、15.89%、24.07%; 表面活性素促进了植株对硼的吸收率, 且浓度越高, 对硼的吸收越多。可见, 表面活性素叶面喷施有利于不结球白菜的生长和光合作用的增强, 并能提高植株对微量元素的吸收, 不仅可作为作物的叶面有机营养剂直接施用, 而且可作为水溶性肥料的增效剂。

**关键词:** 表面活性素; 叶面喷施; 硼; 不结球白菜; 膜透性; 气孔开度; 蜡质层厚度

**中图分类号:** S634.3; TQ423.91

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2016)05-1134-07

## Improved uptake of boron and growth in Chinese cabbage leaves by surfactin

YANG Liu<sup>1</sup>, DENG Jie-yong<sup>1</sup>, WANG Qing-qing<sup>1</sup>, WU Jun-xian<sup>1</sup>, DING Shi-qi<sup>2</sup>, SUN Wen<sup>2</sup>

(1. College of Biological and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Anhui Provincial Kingorin Biotech Co., Ltd., Hefei 230088, China)

**Abstract:** Different concentrations of surfactin and boron solutions were foliarly applied to Chinese cabbage leaves to study the leaf membrane permeability, stomatal aperture and waxy layer thickness, the absorption of boron, and the plant growth. The leaf permeability and waxy layer dissolvability were raised by increased concentrations of surfactin. The leaf stomatal aperture went to the highest level when treated with 0.400 g/L surfactin. The root length, plant height and chlorophyll contents of cabbage foliarly-applied with surfactin for four times were boosted each time of application, and the highest increased rates were 62.38%, 22.63%, and 42.94% at surfactin concentration of 0.040 g/L, and 48.95%, 15.89% and 24.07 at surfactin concentration of 0.400 g/L. The absorption of boron was improved by surfactin application, and the higher the concentration of surfactin, the higher the absorption. It is concluded that foliar application of surfactin is beneficial for the growth and photosynthesis of Chinese cabbage and the absorption of boron. The surfactin is potential not only for leaf surfaced nutrients but for synergistic agent of soluble fertilizer.

**Key words:** surfactin; foliar application; boron; Chinese cabbage; membrane permeability; stomatal aperture; waxy layer thickness

表面活性素(Surfactin)是由枯草芽孢杆菌产生

的一种胞外高分子聚合物, 其单体由 7 个氨基酸(2 个 L-Leu, 2 个 D-Leu, 1 个 L-Glu, 1 个 L-Asp, 1 个 L-Val) 和 1 个长链  $\beta$ -羟基脂肪酸组成, 相对分子量一般为 100 000~500 000, 是迄今为止发现的活性最强

收稿日期: 2016-01-21

作者简介: 杨 柳(1975-), 女, 安徽宿州人, 博士, 副教授, 从事新型肥料研究。(E-mail) yangliu199@163.com

的生物表面活性剂之一,具有表面活性强、生物相容性好、对环境友好等优点,在石油开采、食品、医药、日用化学品等行业有着重要的应用<sup>[1-2]</sup>,但还未见有应用于叶面施肥的研究。

叶面喷施是一种根外施肥技术,由于叶片对养分的吸收转化比根快,可及时补充植物对养分的需求<sup>[3-7]</sup>。养分喷施在叶面上,一方面利用气孔通道进入细胞壁,一方面利用角质层湿润膨胀,蜡质层间距离增加的特点,养分通过角质层进入细胞壁、表皮细胞间隙和细胞膜,再从外质连丝进入叶片被吸收<sup>[8]</sup>。大量研究结果表明在喷施液中加入表面活性物质能改变其表面性质,影响喷施叶片的气孔、角质层、膜透性等结构,促进养分的叶面吸收效果<sup>[9-10]</sup>。王强等发现低浓度的表面活性剂脂肪醇聚氧乙烯醚(PPJ)能促进小麦叶片对硼、天冬氨酸、锰离子的吸收<sup>[9]</sup>。Stewens等指出低浓度的表面活性剂可以促进气孔开启,从而有利于营养物质向细胞的运输<sup>[10]</sup>。

硼作为植物生长发育必需的微量营养元素,参与碳水化合物的运输和转化,促进蛋白质的合成,调节水分吸收和养分平衡以及氧化还原过程。硼还可以提高作物的抗逆性和抗病性能<sup>[11-13]</sup>。植物吸收硼的主要途径是通过木质部将其运输到叶片及生长点中,并固定在叶中非原生质体中,不易移动<sup>[14]</sup>。作物缺硼主要表现在生长点受到影响,如根尖、茎的生长点停止生长。在叶片喷施硼肥时,植物依靠特定的运输分子(如硼-山梨糖醇二聚体、硼-甘露糖醇二聚体、硼-甲基肌醇二聚体等)沿韧皮部筛管进行运输,但运输量较少<sup>[15]</sup>。

不结球白菜[*Brassica campestris* L.ssp. *chinensis* Makino]属十字花科芸薹属,具生长周期短、根系弱、需肥量大等特点,为使其更好地吸收营养物质,本研究拟通过向盆栽不结球白菜叶面喷施含生物表面活性素的叶面肥,考察生物表面活性素对提高不结球白菜叶面吸收硼的作用,为今后研究以表面活性素为主要表面活性剂复配叶面肥料提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

不结球白菜品种四季黄金种子购于福州闽皇种业有限公司。将饱满、整齐一致的种子依次用75%乙醇浸泡30 s,稀释后的次氯酸钠[次氯酸钠:水=

1:3(质量比)]浸泡1 min,并用无菌水冲洗4~5次,洗净后待用。

表面活性素由安徽帝元生物科技有限公司提供,纯度 $\geq 85\%$ 。

试验采用基质栽培,蛭石、黑土、珍珠岩按18:6:1(质量比)比例混配成基质,装入15 cm $\times$ 13 cm的盆钵,各盆钵中以基肥形式按土壤量加入等量氮磷钾肥:N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O纯养分加入量均为0.1 g/kg。

### 1.2 试验方法

1.2.1 叶片细胞膜相对透性试验 将经过预处理的不结球白菜种子点播到放有石英砂的培养皿(直径15 cm)上,加水至恰好淹没石英砂。发芽7 d后将小苗移栽到混有基肥的栽培基质中,每盆5株,每个处理6盆。试验小苗始终在人工气候箱内培养,培养条件为:昼夜温度28℃/26℃,光周期为10 h光照/14 h黑暗,湿度80%。待长出4~5片真叶后,进行7个表面活性素浓度喷施处理(a~g):0 g/L、0.002 g/L、0.020 g/L、0.200 g/L、0.400 g/L、0.600 g/L、2.000 g/L。喷施处理12 h后,取成熟的第1位、第2位叶片用去离子水冲洗干净,擦干,用直径1 cm打孔器避开主脉取25个叶圆片,用电导率法测其叶片膜透性<sup>[16]</sup>。

1.2.2 不结球白菜气孔和蜡质层试验 选用上述处理组样品叶片,剪下叶片用蒸馏水反复冲洗干净,用刀片将之分割为5 mm $\times$ 5 mm大小的叶片,迅速投入装有5%戊二醛溶液的试管中,置于真空干燥装置中真空抽气使叶片沉到管底,取出样品在4℃下1%四氧化锇固定液固定1 h,50%、70%、90%、100%丙酮逐级脱水15 min,叔丁醇置换浸透30 min后,冷冻干燥24 h。样品喷金后,扫描电镜(JSM-6490LV)观察并测量气孔开度<sup>[17]</sup>。

1.2.3 硼肥喷施试验 设计6个处理:(1)喷施10 ml清水(CK<sub>0</sub>);(2)喷施10 ml 0.040 g/L表面活性素溶液(CK<sub>1</sub>);(3)喷施10 ml 0.400 g/L表面活性素溶液(CK<sub>2</sub>);(4)喷施10 ml含B 5.000 g/L的H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>(B<sub>0</sub>);(5)喷施10 ml含B 5.000 g/L的H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+0.040 g/L表面活性素的混合溶液(B<sub>1</sub>);(6)喷施10 ml含B 5.000 g/L的H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+0.400 g/L表面活性素的混合溶液(B<sub>2</sub>)。试验小苗始终在人工气候箱内培养,培养条件同方法1.2.1。待长至4~5片真叶后开始喷施试验,喷施时间固定为早上9点,每5 d喷施1次,每个处理1次喷15 ml,喷

施4次,每次喷施前一日分别取部分小苗,洗净、擦干后测量其生物量和叶绿素含量,分别取1.0 g叶片测定硼离子含量。

### 1.3 指标测定方法

叶片膜透性采用电导率法测定<sup>[16,18]</sup>;气孔通过扫描电镜观察<sup>[19]</sup>;气孔开度通过E-ruler软件测量<sup>[20]</sup>;采用甲亚胺-H酸测硼含量<sup>[21]</sup>;采用乙醇浸提法测叶绿素含量<sup>[22]</sup>。根长用直尺测量植株从露出土壤根部至顶端的距离,株高用直尺测量植株顶部展开叶叶尖至叶基距离<sup>[23]</sup>。

### 1.4 统计分析方法

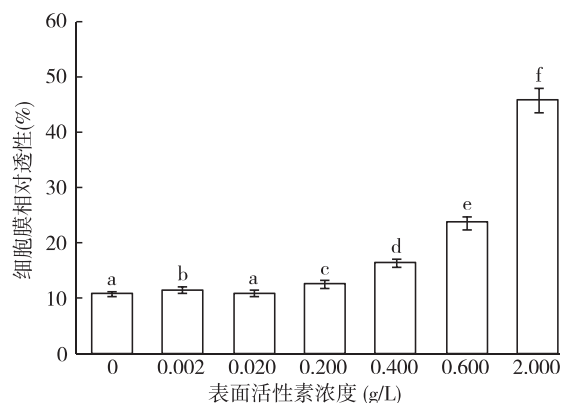
采用Microsoft Excel 2003和SPSS V19.0软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 表面活性素对不结球白菜叶片膜透性的影响

由图1可知,表面活性素能影响不结球白菜叶片相对膜透性,随着表面活性素浓度升高,不结球白菜叶片膜透性增加。在低表面活性素浓度( $\leq 0.400$  g/L)时,表面活性素浓度小幅度提高了叶片相对膜透性,使细胞膜通透性增加;高表面活性素浓度( $>0.400$  g/L)时,叶片相对膜透性大幅度

增加。过高的膜透性会使大量胞内电解质向外渗漏,损伤叶片细胞。



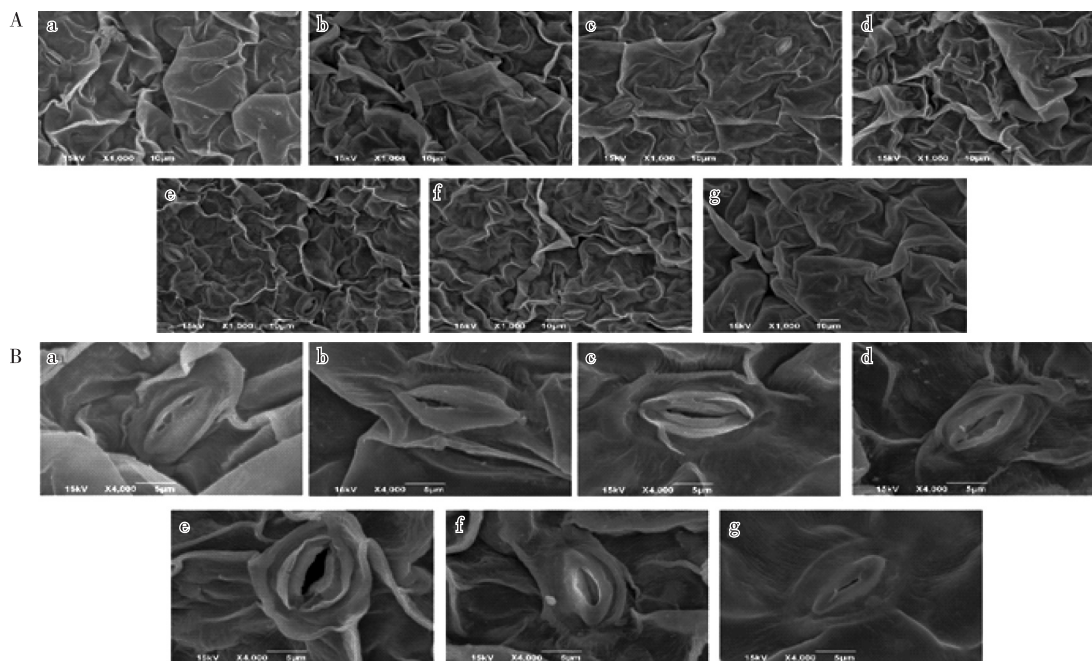
图中不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图1 表面活性素对不结球白菜叶片相对膜透性的影响

Fig.1 Effect of surfactin on relative membrane permeability of Chinese cabbage leaves

### 2.2 表面活性素对不结球白菜气孔和蜡质层的影响

图2A直观反映了气孔周围蜡质层受到表面活性素影响的情况,随着表面活性素浓度的增加,气孔周边蜡质层不断由完好无损且平整趋于褶皱干瘪,



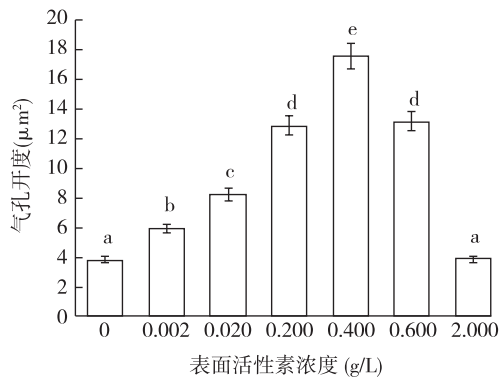
a~g代表的是叶片表面活性素浓度的递增过程,分别是0 g/L、0.002 g/L、0.020 g/L、0.200 g/L、0.400 g/L、0.600 g/L、2.000 g/L。图A是1 000×镜观察的角质层及周边气孔;图B是4 000×镜观察下的图A中单个气孔。

图2 表面活性素对不结球白菜叶片蜡质层(A)及气孔(B)的影响

Fig.2 Effect of surfactin on stoma and waxy layer of Chinese cabbage leaves



蜡质层出现溶解现象,表面活性素浓度越高蜡质层溶解的程度越大,与叶小利等<sup>[24]</sup>在研究表面活性剂对大豆叶面蜡质层影响中的结果大体一致。由图 2B 及图 3 可知,表面活性素不同程度地促进了叶面气孔的开放,且随着表面活性素浓度的增加呈现出不同的促进效果,其中在表面活性素浓度为 0.400 g/L 左右时,促进气孔开放的能力最强,气孔开度最大,气孔张开面积达到  $17.55 \mu\text{m}^2$ 。气孔是外源营养物质进入植物体内的主要通道,气孔张开面积增加,有利于营养物质向植物细胞的运输。



不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 3 表面活性素对不结球白菜气孔开度的影响

Fig.3 Effect of surfactin on stoma aperture of Chinese cabbage

### 2.3 表面活性素对不结球白菜生长及硼吸收的影响

由表 1 可以看出,喷施表面活性素处理相较于喷施清水处理 ( $\text{CK}_0$ ) 根长、株高和总叶绿素含量有不同程度的增加,且株高和总叶绿素含量随表面活性素浓度的增加而增加。在表面活性素浓度为 0.040 g/L ( $\text{CK}_1$ ) 时 4 次喷施处理后根长、株高、总叶绿素含量和干质量比  $\text{CK}_0$  都有增加,最高增加幅度分别为 62.38% (喷施 3 次后)、22.63% (喷施 1 次后)、42.94% (喷施 4 次后) 和 64.04% (喷施 1 次后);浓度为 0.400 g/L ( $\text{CK}_2$ ) 时 4 次喷施后不结球白菜根长、株高、总叶绿素和干质量增加幅度最高,分别达到 48.95% (喷施 3 次后)、15.89% (喷施 1 次后)、24.07% (喷施 2 次后)、62.50% (喷施 3 次后)。与硼处理组 ( $\text{B}_0$ ) 相比,硼+表面活性素处理组不结球白菜根长、株高和总叶绿素有不同程度的增加,最高分别增加 28.21% (喷施 2 次,  $\text{B}_2$  组)、8.76% (喷施 1 次,  $\text{B}_1$  组)、31.09% (喷施 4 次,  $\text{B}_2$  组)。表明,喷施适当浓度表面活性素对不结球白菜幼苗生

长有促进作用。

由图 4 可知,添加表面活性素的硼元素处理组较不添加表面活性素的处理组对硼吸收有不同程度的增加,其中第 1 次喷施时,含 B 5.000 g/L+ 0.040 g/L 表面活性素 ( $\text{B}_1$ ) 组相较于含 B 5.000 g/L ( $\text{B}_0$ ) 组对硼吸收效果提高了 41.56%,含 B 5.000 g/L+ 0.400 g/L 表面活性素 ( $\text{B}_2$ ) 组相较于含 B 5.000 g/L ( $\text{B}_0$ ) 组对硼吸收效果提高了 85.31%;第 2 次喷施时,  $\text{B}_1$  组对硼的吸收量增加了 77.16%;第 3 次喷施时,  $\text{B}_1$  组对硼的吸收量较  $\text{B}_0$  组增加了 8.31%,  $\text{B}_2$  组较  $\text{B}_0$  组增加了 29.22%;第 4 次喷施时,  $\text{B}_1$  组对硼的吸收量较  $\text{B}_0$  组增加了 28.65%,  $\text{B}_2$  组较  $\text{B}_0$  组增加了 53.60%。表明,表面活性素对硼吸收有促进作用,在所有表面活性素浓度中 0.400 g/L 效果最好。

### 3 讨论

表面活性素是表面活性最强的脂肽类化合物,目前对表面活性素的研究主要集中在其生产方法上<sup>[25]</sup>。脂肽类化合物在农业上的应用主要在抑制植物病害方面,如枯草芽孢杆菌 B6-1 发酵液中  $\gamma$ -PGA 和脂肽能有效地抑制黄瓜枯萎病,显著增加黄瓜幼苗的根长、芽长、干质量以及种子萌发率<sup>[26]</sup>。脂肽类化合物还具有刺激病毒寄主植物免疫系统的作用,能够有效抑制植物病害<sup>[27]</sup>。本研究发现表面活性素能够促进作物生长及提高作物对微量元素硼的吸收,为其在肥料领域的应用提供了理论基础。

表面活性剂对物质吸收的促进作用屡见于其他报道。李晓莉<sup>[28]</sup>通过大田试验和离体研究发现,表面活性剂在不同植物角质膜上的促进作用略有不同,无论在大田试验还是在离体角质膜试验中,对大豆硼吸收的促进作用要强于花生。与不含表面活性剂的硼营养液相比,加入表面活性剂后,植物对硼的吸收量有所增加,且喷施后 24 h 的促进效果最佳,24~48 h 的吸收量略有增加,但趋于稳定<sup>[29]</sup>。Stock 等<sup>[30]</sup>研究了不同浓度脂质醇表面活性剂 AE11 对化合物吸收、转运的影响,结果表明,随着浓度的升高,溶液中的平衡表面张力减小,加入 5.0 g/L 表面活性剂的化合物总吸收量增至浓度为 0.2 g/L 时总吸收量的 150%。叶小利等<sup>[17]</sup>研究结果表明随着表面活性剂蔗糖脂肪酸酯浓度的增加,大豆叶面气孔的孔径逐渐增大,浓度为 1.0 mmol/L 时气孔孔径达到最大 ( $49 \mu\text{m}^2$ ),而当浓度为 2.0 mmol/L 时,气孔

表 1 表面活性素对不结球白菜生物学指标的影响

Table 1 Effect of surfactin on biological indicators of Chinese cabbage

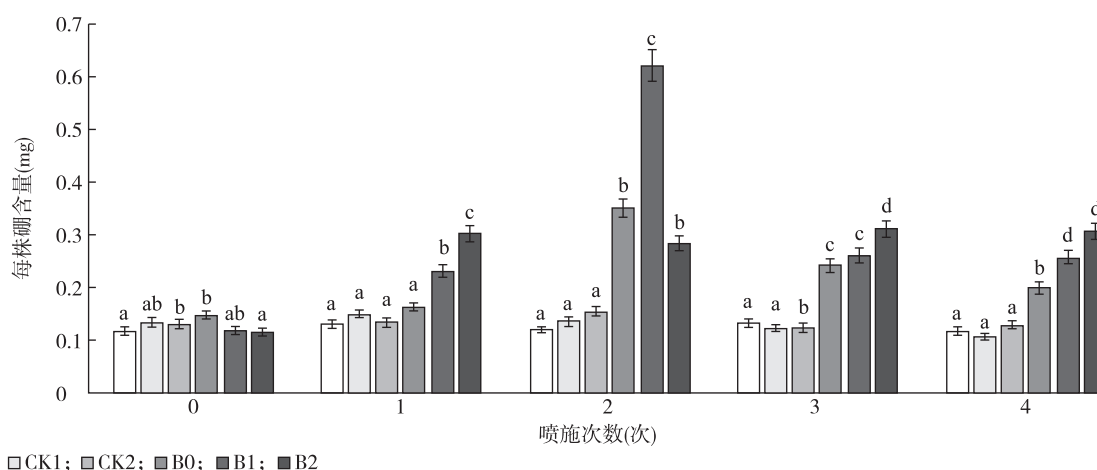
喷施次数	处理	根长 (cm)	株高 (cm)	总叶绿素含量 (g/kg)	每株干质量 (g)
0	初始值	1.822 ± 0.124	7.635 ± 0.449	0.391 ± 0.021	0.297 ± 0.029
1	CK <sub>0</sub>	2.350 ± 0.936a	11.833 ± 0.658a	0.477 ± 0.033ab	0.420 ± 0.062a
	CK <sub>1</sub>	2.413 ± 0.516a	14.511 ± 1.031b	0.425 ± 0.009bc	0.758 ± 0.128b
	CK <sub>2</sub>	2.357 ± 0.944a	13.714 ± 1.066ab	0.573 ± 0.020c	0.664 ± 0.099b
	B <sub>0</sub>	2.428 ± 0.886a	12.642 ± 1.028a	0.599 ± 0.077bc	0.638 ± 0.101b
	B <sub>1</sub>	2.416 ± 1.068a	13.750 ± 1.730ab	0.578 ± 0.021a	1.300 ± 0.145c
	B <sub>2</sub>	2.485 ± 0.859a	12.928 ± 0.849a	0.621 ± 0.016c	0.575 ± 0.081ab
2	CK <sub>0</sub>	2.375 ± 0.478a	16.675 ± 1.514a	0.403 ± 0.045a	0.817 ± 0.100a
	CK <sub>1</sub>	2.716 ± 0.447ab	16.925 ± 2.178a	0.571 ± 0.055d	0.798 ± 0.109a
	CK <sub>2</sub>	2.400 ± 0.894a	18.300 ± 2.096ab	0.500 ± 0.029b	1.054 ± 0.112b
	B <sub>0</sub>	2.925 ± 0.937b	18.613 ± 1.324ab	0.444 ± 0.021f	0.874 ± 0.082a
	B <sub>1</sub>	2.825 ± 0.750b	19.625 ± 1.816b	0.512 ± 0.102bc	1.287 ± 0.133c
	B <sub>2</sub>	3.750 ± 1.007c	18.375 ± 1.289ab	0.547 ± 0.032cd	0.907 ± 0.132ab
3	CK <sub>0</sub>	2.911 ± 0.961a	17.121 ± 1.128a	0.513 ± 0.056a	1.040 ± 0.117a
	CK <sub>1</sub>	4.727 ± 0.724b	20.225 ± 2.063b	0.566 ± 0.043b	1.706 ± 0.205c
	CK <sub>2</sub>	4.336 ± 0.836ab	18.900 ± 1.463a	0.612 ± 0.079b	1.690 ± 0.167c
	B <sub>0</sub>	4.114 ± 1.004ab	18.814 ± 1.396a	0.627 ± 0.046c	1.934 ± 0.122d
	B <sub>1</sub>	4.433 ± 1.083ab	19.166 ± 0.645ab	0.751 ± 0.113b	1.006 ± 0.101a
	B <sub>2</sub>	3.916 ± 1.041ab	19.333 ± 1.297ab	0.767 ± 0.082b	1.101 ± 0.093ab
4	CK <sub>0</sub>	3.712 ± 0.570a	20.521 ± 1.335a	0.729 ± 0.071b	1.390 ± 0.110a
	CK <sub>1</sub>	4.225 ± 0.946a	21.431 ± 2.252a	1.042 ± 0.099e	2.037 ± 0.174c
	CK <sub>2</sub>	4.316 ± 1.036b	21.723 ± 1.718a	0.764 ± 0.035b	1.750 ± 0.148b
	B <sub>0</sub>	4.185 ± 1.040a	20.916 ± 1.029a	0.669 ± 0.056a	1.586 ± 0.172ab
	B <sub>1</sub>	4.225 ± 0.447ab	19.825 ± 1.174a	0.807 ± 0.041c	1.998 ± 0.153c
	B <sub>2</sub>	4.300 ± 1.095b	21.427 ± 1.435a	0.877 ± 0.085d	1.764 ± 0.121b

CK<sub>0</sub>:清水;CK<sub>1</sub>:0.040 g/L 表面活性素;CK<sub>2</sub>:0.400 g/L 表面活性素;B<sub>0</sub>:含 B 5.000 g/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>;B<sub>1</sub>:含 B 5.000 g/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+0.040 g/L 表面活性素;B<sub>2</sub>:含 B 5.000 g/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+0.400 g/L 表面活性素。表中同一列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

几乎完全关闭。研究者认为表面活性剂促进气孔打开的作用机理可能是因为表面活性剂在与大豆叶片的相互作用中,增加了保卫细胞中叶绿素的含量及蔗糖酶的活力,提高了蔗糖的含量,进而使保卫细胞吸水,增加了膨压,使气孔打开,而且这种气孔通道的激活相当快<sup>[31]</sup>。周莉等<sup>[32]</sup>观察叶片表面微观结构,发现添加 APG (烷基糖苷) 的草甘膦制剂 G-A200 处理的叶片表面与空白比较有可见的明显溶胀,表明添加 APG 起到了溶解、溶胀或破坏植物上表皮蜡质层,促进药剂渗透的作用,增加分子物质在亲脂角质层中的溶解性以及能够诱导草甘膦直接经

气孔被植物吸收。

作为表面活性剂的一种,表面活性素可以通过 2 个单肽链与细胞膜上的 Ca<sup>2+</sup> 紧密连接在一起,提高了质膜的通透性。适当提高细胞膜的通透性有助于植物对营养成分的吸收,过高的通透性对细胞有伤害。细胞膜是由磷脂双分子层为“骨架”构成的,Alicia 等<sup>[33]</sup>研究认为表面活性素与磷脂双分子层主要物质磷脂通过在双分子膜内分隔构建结构域而结合在一起,从而形成细胞膜离子通道,达到分子输送的目的。Magali 等<sup>[34]</sup>借助原子力显微镜、椭圆偏振技术和动态光散射等方法研究了脂肽与生物膜



□CK0; □CK1; □CK2; ■B0; ■B1; ■B2

CK<sub>0</sub>:清水;CK<sub>1</sub>:0.040 g/L 表面活性素;CK<sub>2</sub>:0.400 g/L 表面活性素;B<sub>0</sub>:含 B 5.000 g/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>;B<sub>1</sub>:含 B 5.000 g/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+0.040 g/L 表面活性素;B<sub>2</sub>:含 B 5.000 g/L 的 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>+0.400 g/L 表面活性素。不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 4 喷施表面活性素对硼吸收影响

Fig.4 Effect of surfactin on the absorption of boron

脂质的相互作用,结果表明生物膜的稳定性与脂肽的添加浓度有显著关系,其中脂肽浓度接近临界胶束浓度时,会使双分子膜中的部分磷脂产生溶解,增强脂质双分子层的通畅性。

单独施用表面活性素能促进作物生长,主要是因为表面活性素易于通过叶片表面进入叶片内部,高分子量的表面活性素能够在磷脂的作用下分解成小分子的氨基酸和脂肪酸,表面活性素与细胞膜形成的离子通道有利于这些化合物的运输,这些小分子有机物不仅能直接为作物代谢提供能量,还能为脂类、蛋白质等物质的合成提供骨架。表面活性素能够促进作物对硼的吸收,可能是因为表面活性素能与细胞膜形成离子通道,从而有利于营养物质的吸收。由此推断出表面活性素应还能提高作物对其他多种离子的吸收,已有研究证明表面活性素能大大提高作物对锰离子的吸收。

在叶面肥料中添加表面活性剂能促进作物对营养物质的吸收,但传统的表面活性剂难以生物降解,形成长期的残留,严重地影响了生态系统,表面活性素可被作物吸收利用,对环境无危害。本研究通过应用表面活性素降低喷施液的表面张力,溶解叶片蜡质层,提高喷施液在作物叶片上的润湿程度和增加养分的渗透性,从而扩大了分子通道且削弱了分子进入的障碍,使硼及其他难溶微量元素的吸收程度加深、速度加快,且不结球白菜幼苗的长势和生物量有不同程度的增加,表面活性素全程参与了叶面

肥的整个吸收过程,并在其中发挥重要作用,它能够促进叶面肥肥液的吸收,可以作为叶面肥的增效剂使用。

#### 参考文献:

- [1] RODRIGUES L, BANAT I M, TEIXEIRA J, et al. Biosurfactants; potential applications in medicine [J]. Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 2006, 57(4):609-618.
- [2] NITSCHKE M, COSTA S. Biosurfactants in food industry [J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(5):252-259.
- [3] 庞强强,陈日远,刘厚诚,等. 叶面喷施不同碳源对白菜生长、品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):148-150.
- [4] 高 丹,周晓超,苏 阳,等. 叶面喷施钾、钙和镁肥对三月红荔枝果皮着色的影响[J]. 南方农业学报,2015,46(10):1849-1855.
- [5] REUVENI R, REUVENI M. Foliar-fertilizer therapy: a concept in integrated pest management[J]. Crop Protection, 1998, 17(2):111-118.
- [6] 柯用春,曹 明,杨小锋,等. 喷施不同浓度有机硅肥对热带地区甜瓜产量和品质的影响[J]. 南方农业学报,2015,46(1):53-57.
- [7] 张衡锋,李成忠,高利利,等. 叶面喷施微肥对藏红花光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):285-287.
- [8] HEREDIA A, BUKOVAC M J. Interaction between 2-(1-naphthyl) acetic acid and micelles of nonionic surfactants in aqueous solution [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(11):2290-2293.
- [9] 王 强,王邦俊. 表面活性剂 PPJ 对小麦叶子吸收营养物质的

- 影响[J].西南农业大学学报,2001,23(2):113-116.
- [10] STEWENS P J G, GASKIN R E, HONGS O, et al. Contributions of stomatal in filtration and cuticular penetration to foliar uptake by surfactants[J]. Pesticide Science, 1991, 33(3):371-382.
- [11] 从心黎, 江行玉, 黄绵佳, 等. 免疫化学法探讨缺硼导致樱桃萝卜细胞壁松弛的机理[J]. 南方农业学报, 2015, 46(3):397-400.
- [12] 冷璐, 陆引罡. 磷、硫、硼营养对烤烟油分及其相关合成酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5):101-103.
- [13] 邱才飞, 钱银飞, 陈华玲, 等. 钙镁硼肥对人工栽培地稔生长的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(4):605-608.
- [14] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005.
- [15] 祖艳群, 林克惠. 硼在植物体中的作用及对作物产量和品质的影响[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(4):359-363.
- [16] 马丽清, 韩振海, 周二峰, 等. 盐胁迫对珠美海棠和山定子膜保护酶系统的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(4):495-499.
- [17] SELVAM G G, SIVAKUMAR K. Influence of seaweed extract as an organic fertilizer on the growth and yield of *Arachis hypogea* L and their elemental composition using SEM-energy dispersive spectroscopic analysis[J]. Asian Pacific Journal of Reproduction, 2014, 33(3):18-22.
- [18] NEDJIIMI B. Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2014, 52(1):4-13.
- [19] 侯燕鸣, 胡剑江, 方 蕾, 等. 扫描电镜的不同含水量植物叶片样品的处理及观察方法研究[J]. 分析仪器, 2011(5):45-48.
- [20] 刘亚丽, 岳树松, 王 珺. 红光对蚕豆叶片气孔开度及生理作用的影响[J]. 湖北农业科学, 2005(5):39-41.
- [21] 王 婕. 甲亚胺-H 分光光度法测定水中硼[J]. 科技资讯, 2011(9):208.
- [22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [23] 于会丽, 林治安, 李燕婷, 等. 喷施小分子有机物对小油菜生长发育和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6):1560-1568.
- [24] 叶小利, 李学刚, 陈时洪, 等. 表面活性剂对大豆叶面气孔和蜡质层影响研究[J]. 大豆科学, 2000, 19(1):49-56.
- [25] WANG Q J, CHEN S W, ZHANG J B, et al. Co-producing lipopeptides and polyglutamic acid by solid-state fermentation of *Bacillus subtilis* using soybean and sweet potato residues and its biocontrol and fertilizer synergistic effects [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(8):3318-3323.
- [26] ONGENA M, HENRY G, THONART P. The roles of cyclic lipopeptides in the biocontrol activity of *Bacillus subtilis*[R]. Recent Developments in Management of Plant Diseases. Berlin: Springer Nether lands, 2009:59-69.
- [27] EPAND RM. Biophysical studies of lipopeptide-membrane interactions[J]. Biopolymers, 1997, 43(1):15-24.
- [28] 李晓莉. 表面活性剂对植物角质膜渗透性能影响的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [29] 李晓莉, 岳彩鹏, 王 冰, 等. 表面活性剂对大豆和花生茎叶吸硼量的影响[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(7):107-111.
- [30] STOCK D, HOLLOWAY P J, GRAYSON B T, et al. Development of a predictive uptake model to rationalise selection of polyoxyethylenesurfactant adjuvants for foliage-applied agrochemicals&dagger [J]. Pesticide Science, 1993, 37(3):233-245.
- [31] KIRKWOOD R C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides: Uptake of agrochemicals and pharmaceuticals[J]. Pesticide Science, 1999, 55(1):69-77.
- [32] 周 莉, 于厚春, 刘剑洪, 等. APG 对草甘膦的增效作用及机理探讨[J]. 农药, 2009, 48(2):140-143.
- [33] ALICIA G, JUAN C, GOMEZ F, et al. A study on the interactions of surfactin with phospholipid vesicles [J]. Biochimicaet Biophysica Acta, 1999, 1418(2):307-319.
- [34] MAGALI D, JOSEPH L, LAURENCE L, et al. Effects of surfactin on membrane models displaying lipid phase separation[J]. Biochimicaet Biophysica Acta, 2013, 1828(2):801-815.

(责任编辑:陈海霞)