

提高作物叶面养分吸收的复合型助剂研究

肖 艳, 曹一平*, 王敬国, 陈 凯
(农业部植物营养学重点实验室, 教育部植物-土壤相互作用重点实验室,
中国农业大学资源与环境学院植物营养系, 北京 100094)

摘要: 本文研究了含有黄腐酸在内的复合型表面活性剂对白菜和花生叶片硼、锰吸收的影响。复合表面活性剂通过降低喷施液的表面张力, 明显增加了供试作物叶片对硼、锰的吸收。单一黄腐酸对喷施液的表面张力影响不大, 可通过络合作用促进硼、锰的吸收。黄腐酸与表面活性剂结合使用表现出明显的复合效应, 使喷施液的表面张力低于作物叶片临界表面张力, 显著促进了白菜和花生叶片对硼、锰的吸收效果, 可以用复合型助剂提高作物叶面对养分的吸收。

关键词: 表面活性剂; 临界表面张力; 复合效应。

中图分类号: O647.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2004)03-0281-05

Research of mixed adjuvants on the absorption of nutrient elements in crop leaf

XIAO Yan, CAO Yi-ping, WANG Jing-guo, CHEN Kai
(Key Lab. of Plant-Soil Interactions, MOE; Key Lab. of Plant Nutrition, MOA; Dept. of Plant Nutrition, CAU, Beijing 100094, China)

Abstract: Effects of FA and mixed surfactants on the absorption of B and Mn in cabbage and peanut leaf were studied. Mixed surfactants could decrease surface tension of the foliar fertilizer solution. It improved B and Mn uptake in cabbage and peanut leaf. Effect of FA on surface tension of the solution is not obviously. It also improved B and Mn uptake in cabbage and peanut leaf as chelating reagent. Composite systems of surfactants and FA could produce synergism, which could decrease surface tension of the solution significantly. The surface tension of the solution equal to the critical surface tension of cabbage leaf and lower than the critical surface tension of peanut leaf, so the mixed adjuvants could be used to improve B and Mn uptake by crops.

Key words: surfactant; critical surface tension; synergism

叶面施肥是现代集约化农业中一项有效的营养调控技术^[1]。但由于作物叶表覆盖有不同厚度的蜡质层, 使其成为疏水低能的表面, 不利于液体对其表面的润湿, 进而影响养分的吸收^[2]。在固液界面化学中, 临界表面张力是表征固体表面能的一个指标, 用以说明液体在固体表面的可润湿性, 只有液体的表面张力小于固体临界表面张力时, 才可以在固体表面完全润湿^[3]。人们依据这一原则测定作物叶片的临界表面张力, 作为叶片表面能的衡量指标。如果液体在叶面完全铺展与润湿, 则需要其表面张力小于叶片临界表面张力值^[4]。应用表面活性剂可以

降低液体的表面张力, 使之趋近于叶片临界表面张力, 改善喷施液在作物叶面的润湿度以及增加养分的渗透性, 提高养分吸收的效率。在国外, 叶面肥料的研制中表面活性剂得到重视和广泛的应用^[5]。叶面喷施一定浓度的黄腐酸可以刺激作物的生长, 提高作物抗逆能力, 并可以作为螯合剂促进多种营养元素的叶面吸收, 黄腐酸类叶面肥的开发成为叶面肥研制中重要的分支^[6-7]。黄腐酸与表面活性剂协同使用对养分的叶面吸收有何影响, 两者之间是否具有复合效应, 目前尚未深入研究。为此, 通过比较表面活性剂和黄腐酸协同使用对白菜和花生叶面

收稿日期: 2003-08-22 修改稿收到日期: 2003-09-15
基金项目: 国家高科技产业化研究 863 课题(2001AA246062)资助。
作者简介: 肖 艳(1970—), 男, 山东郓城人, 博士研究生, 主要从事新型肥料研究工作。* 通讯作者

硼、锰助吸的影响效果,研究表面活性剂和黄腐酸的复合协同效应,探讨提高作物叶面养分吸收效率的方法。

1 材料与方法

1.1 活性剂的制备

复合表面活性剂(Mixed surfactant, MS)由十二烷基硫酸钠(SDS)与聚乙二醇辛基苯基醚(OP-10)按一定比例复配而成,SDS、OP-10均为分析纯药品。

黄腐酸(fulvous acid, FA)与MS的复合:FA由中国农业大学资环学院肥料研制与咨询中心制备,叶面最佳使用浓度为100mg/L。将MS分别配制成20、40、50、100、150、200、400、1000、2000、4000mg/L等一系列浓度梯度的两组水溶液,一组水溶液中含有FA,浓度均为100mg/L,另一组不含FA,两组溶液中MS浓度梯度相同。

1.2 试验设计

盆栽试验土壤采自北京市卢沟桥石灰性砂壤土,有机质含量为6.4g/kg,全N 0.6g/kg,速效P 6.2 mg/kg,速效K 73.8 mg/kg,有效Mn 8.7 mg/kg,有效B 0.3 mg/kg。土壤风干后过2.5mm筛,与肥料混匀装入8kg瓦氏盆中。

供试白菜(*Brassica Campestris* L. ssp. *chinensis*)品种为矮箕青菜。种子播于土表,用0.25kg细砂土覆盖,留苗8株,基肥用量为N 0.15 g/kg、P₂O₅ 0.15 g/kg、K₂O 0.15 g/kg。出苗50d后进行叶面喷施处理,每盆喷施混合液10mL,重复4次。共设5个处理:1)叶面喷施蒸馏水(CK0),2)叶面喷施Mn、B混合液(CK1),3)叶面喷施MS与Mn、B混合液(MS),4)叶面喷施FA与Mn、B混合液(FA),5)叶面喷施MS、FA与Mn、B混合液(MS+FA)。各处理中Mn、B液为硫酸锰与硼砂的混合溶液,浓度均为0.1%(m/v),MS浓度均为200 mg/L,FA浓度均为100mg/L。

供试花生(*Arachis hypogaea* L.)品种为鲁花12。基肥用量为N 0.10g/kg、P₂O₅ 0.15g/kg、K₂O 0.15g/kg,留苗4株。其它措施同白菜处理。

1.3 测试方法

溶液表面张力的测定:采用吊片法测定黄腐酸及表面活性剂水溶液和喷施液的表面张力,测定温度为(20±1)℃^[8],表面张力值读数相差小于0.2 mN/m,重复5次。

白菜和花生叶面临界表面张力的测定:每盆采

集3片新展开白菜或花生的叶片,展平后铺放在平整的桌面上,将不同浓度的表面活性剂溶液小心滴在叶片表面,表面活性剂溶液浓度分别为20、50、100 mg/L(对应的溶液表面张力为49.9、40.6、34.5 mN/m),每滴溶液约为0.05 mL。用数码相机快速拍摄下液滴的图形,镜头与叶面方向平行。将图象输入计算机,放大以后测量气相、液相和固相交界处液滴切线与叶面所形成的夹角,即为接触角 θ 。以 $\cos\theta$ 与表面活性剂溶液对应的表面张力作直线图,将直线延长至与 $\cos\theta = 1$ 所对应的溶液表面张力处,相交点之值即为白菜或花生叶片的叶面临界表面张力^[3]。液滴用吸水纸吸干,以免破坏叶面蜡质层结构。

白菜及花生叶片硼、锰含量的测定:叶面喷施3日后取样,先用湿纱布擦去叶表灰尘,然后用蒸馏水冲洗1min。烘干后进行干灰化处理,利用ICP(Inductively Coupled Plasma-Optima 3300DV)测定叶片B、Mn元素的含量。

叶片B、Mn吸收量采用Duncan法进行检验($P < 0.05$),利用SAS软件进行统计。

2 结果与分析

2.1 FA对MS表面活性的影响

FA可以略微降低水溶液的表面张力,随着FA浓度升高,溶液表面张力由70.1mN/m下降到66.8 mN/m(图1)。MS则可以明显降低水溶液表面张力,MS达到临界胶束浓度(200mg/L)时,溶液表面张力最低可以降到32.8 mN/m。在MS溶液中加入FA以后,临界胶束浓度由200mg/L降低到150mg/L,水溶液表面张力值可以下降为32.2 mN/m,表明FA与MS结合产生了复合效应,使MS降低溶液表面张力的能力与效率均有所提高。

2.2 白菜和花生叶面的临界表面张力

将相同浓度的表面活性剂溶液滴于白菜和花生叶面,白菜叶片与3种浓度液滴之间的接触角 θ 均小于花生叶片,表明溶液更容易在白菜叶面润湿。由溶液表面张力值与液滴和作物叶面之间接触角 $\cos\theta$ 作直线图,直线与 $\cos\theta = 1$ 时对应的溶液表面张力值交点即为叶片临界表面张力值。结果(图2)显示,白菜叶片的临界表面张力值为33.5mN/m,花生叶片的临界表面张力32.1mN/m。

2.3 MS和FA对喷施液表面张力的影响

表1为不同喷施液的表面张力值。Mn、B混合液比蒸馏水的表面张力增加了0.7mN/m,加入FA

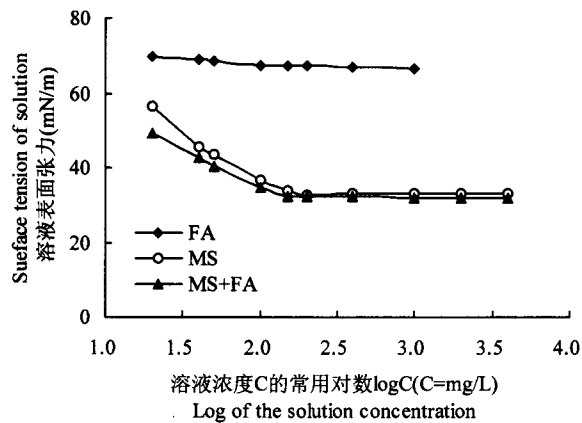


图 1 黄腐酸(FA)对复合表面活性剂(MS)表面活性的影响
Fig. 1 Effect of fulvous acid(FA) on activity of mixed surfactants(MS)

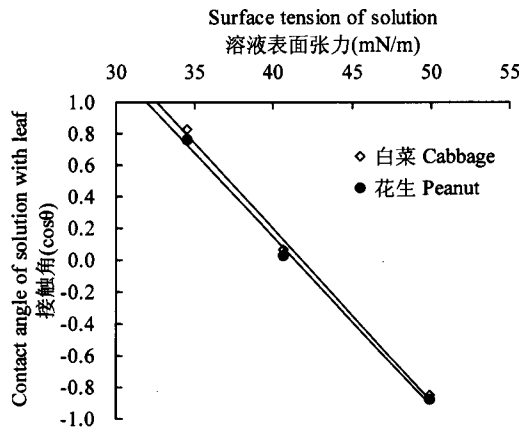


图 2 白菜和花生叶片临界表面张力
Fig. 2 The critical surface tension of cabbage and peanut leaf

以后表面张力值比蒸馏水下降了 1.6mN/m。MS 则大幅度降低了喷施液的表面张力,其值降为 33.2mN/m,略低于白菜叶片的临界表面张力值。FA 与 MS 结合则表现出明显的复合效应,喷施液表面张力降低为 32.3mN/m,低于白菜叶片临界表面张力,与花生叶片临界表面张力值基本一致。

表 1 MS 和 FA 对喷施液表面张力的影响
Table 1 Effect of MS and FA on the tension of spraying solution

处理 Treatment	表面张力(mN/m) Surface tension
CK0	72.1
CK1	72.8
MS	33.2
FA	70.5
MS + FA	32.3

注(Note): CK0—喷蒸馏水 Distilled water; CK1—喷 B、Mn 溶液 B, Mn solution; MS—喷复合活性剂和 B、Mn 溶液 Mixed surfactant and B, Mn solution; FA—喷黄腐酸和 B、Mn 溶液 Fulvous acid and B, Mn solution; MS+FA—喷复合活性剂、黄腐酸和 B、Mn 溶液 Mixed surfactant, fulvous acid and B, Mn solution。下同 Same as follows.

2.4 MS 和 FA 对白菜和花生叶片硼、锰吸收的影响

表 2 看出,在白菜喷施处理中,MS 和 FA 处理的叶片 B 含量比 CK1 处理分别增加 19.9%、6.9%,Mn 分别增加 14.4%、7.9%,差异显著,说明 MS 与 FA 对 B、Mn 的叶面吸收均有明显促进作用。MS 和 FA 处理间没有明显差异。MS+FA 处理白菜叶片中 B 含量比二者单独喷施处理分别增加 8.7%、21.9%,差异显著,MS 与 FA 结合明显提高

表 2 MS 和 FA 对白菜及花生叶片硼、锰吸收的影响
Table 2 Effects of MS and FA on the uptake of B and Mn by leaves of cabbage and peanut

处理 Treatments	白菜叶片养分含量 Nutrients concentration of cabbage				花生叶片养分含量 Nutrients concentration of peanut			
	硼 B (mg/kg)	增加(%) Increment	锰 Mn (mg/kg)	增加(%) Increment	硼 B (mg/kg)	增加(%) Increment	锰 Mn (mg/kg)	增加(%) Increment
CK0	38.8 d	—	65.2 d	—	52.6d	—	44.6d	—
CK1	67.0 c	72.7	105.3 c	61.5	78.4c	49.0	87.1c	95.3
MS	80.3 b	107.0	120.5 ab	84.8	89.6b	70.3	102.6b	130.0
FA	71.6 b	84.5	113.6 b	74.2	83.2bc	58.2	93.2b	109.0
MS+FA	87.3 a	125.0	125.4 a	92.3	97.5a	85.4	115.8a	159.6

了白菜叶片对 B 的吸收,但对 Mn 的吸收与 MS 处理无明显差异。在花生喷施处理中,MS 处理花生叶片中 B、Mn 含量比 CK1 处理分别增加为 14.3%、17.8%,差异显著,表明 MS 对硼、锰的叶面吸收均有明显促进作用;FA 处理 B 的吸收量与 CK1 处理差异不显著,Mn 含量则增加 7.0%,差异显著,表现出明显的促吸效果。MS 和 FA 配合喷施花生叶片 B、Mn 含量高于二者单独使用处理,且差异显著,说明 MS 与 FA 结合提高了花生叶片对 B、Mn 的吸收,具有明显的复合效应。

3 讨论

3.1 临界表面张力与叶面养分吸收

固体临界表面张力的概念是由 FOX 和 Zisman 提出的,当液体在固体表面上的接触角 θ 为零时,液体的表面张力即为此固体的临界表面张力^[3]。固体表面临界表面张力值越低,液体就越不利于在固体表面的铺展和润湿。作物叶面蜡质化学组成、晶体类型、分布密度以及叶片结构等有很大差异,表现为不同的叶片临界表面张力^[9-10],其值越低,喷施液在叶面进行铺展和润湿就需要越低的表面张力。白菜叶片较宽阔,叶表蜡质层少,其叶片临界表面张力值高于花生叶片,因此,要使喷施液在叶面完全润湿,花生叶片比白菜叶片需要使用表面活性更高的表面活性剂。

3.2 黄腐酸与表面活性剂的复合效应

两种或两种以上表面活性剂以及表面活性剂与一些有机物之间存在复合协同效应,能明显提高表面活性剂的活性性质,因此,可利用表面活性剂这一性质研制复合型助剂^[11-14]。黄腐酸是由酚酸和苯羧酸通过氢键联结而形成的一种多聚结构混合物。这种结构的特征是其中贯穿着大小不同的孔穴,可以捕捉或固定有机化合物,如烷烃、脂肪酸、碳水化合物、缩氨酸、农药以及金属离子、氧化物等。此外,黄腐酸表面的官能团也能与上述一些化合物产生相互作用^[15]。黄腐酸可能通过这种相互作用与表面活性剂形成复合物,增加其表面活性,表现出明显的复合协同效应,导致复合体系的黏度、水溶性均有所改善^[16]。另外,黄腐酸也可以提高溶液的离子强度和混合表面活性剂中 SDS 分子及其胶束的反离子浓度,使 SDS 极性头基的电荷作用降低。因此,混合溶液表面张力与临界胶束浓度均表现出一定程度的下降^[17]。黄腐酸与表面活性剂之间的复合协同效应,对于提高表面活性剂的应用效果有非常重要

的意义。

3.3 复合型助剂对白菜和花生硼、锰吸收的影响

喷施液中加入表面活性剂以后,可以降低其表面张力,同时降低喷施液与叶面间的界面张力,有的表面活性剂还可以部分溶解叶表蜡质,具有提高作物叶片临界表面张力的作用^[18]。根据杨氏平衡方程,液滴与叶面接触角 $\cos\theta$ 必须增大,方程才能维持平衡。因此接触角 θ 变小,增加了喷施液在叶面的润湿程度^[3],对养分的吸收有明显的促进作用。单一黄腐酸对喷施液的表面张力影响很小,其主要通过与营养元素形成复杂的螯合物,并一定程度地增加喷施液的粘着性,提高养分的叶面利用效率。黄腐酸与表面活性剂复合表现出明显的协同效应,使喷施液的表面张力进一步降低,当其值降到作物临界表面张力值时,喷施液与叶面之间的接触角为零,喷施液在叶片表面完全润湿,可以促进养分的吸收。另外,黄腐酸降低了表面活性剂的临界胶束浓度,有利于喷施液中气—液界面的表面活性剂分子处于饱和状态,使喷施液的表面张力不会因喷施液形成雾滴而提高,从而维持喷施液较低的表面张力,保证了喷施液在叶面的润湿,增加了养分的吸收效果。

参考文献:

- [1] Alexander A, Schroeder M. 叶面施肥的现代趋势[J]. 国外农学(土壤肥料),1988 (4): 21-24.
- [2] Chamel A, Gambonnet B, Arnaud L, Alfi M. Foliar absorption of ¹⁴C paclobutrazol: Study of cuticular sorption and penetration using isolated cuticles[J]. Plant Physiol., 1991,29: 395-401.
- [3] 徐燕莉. 表面活性剂的功能[M]. 北京: 化学工业出版社,2000. 72-85.
- [4] 顾中言,许小龙,韩丽娟. 一些药液难在水稻、小麦和甘蓝表面润湿展布的原因分析[J]. 农药学报,2002,4(2): 75-80.
- [5] 肖艳,唐永康,曹一平,王敬国. 表面活性剂在叶面肥中的应用与进展[J]. 磷肥与复肥,2003,18(4): 14-15.
- [6] 陈玉玲. 腐植酸对植物生理活动的影响[J]. 植物学通报,2000, 17(1): 64-72.
- [7] 李善祥,窦秀云,晁兵. 活性抗硬水黄棕腐酸叶面肥的研究与应用[J]. 腐植酸,2000(3): 36-38.
- [8] 朱玮瑶,赵振国. 界面化学基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996. 30-31.
- [9] Flaishman M A, Hwang C S, Kolattukudy P E. Involvement of protein phosphorylation in the induction of appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides* by its host surface wax and ethylene[J]. Physiol. Molecular Plant Pathology,1995,47: 103-117.
- [10] Holloway P J. Structure and histochemistry of plant cuticular membranes[A]. An overview in the plant cuticle[M]. London: Academic Press,1982.

- [11] 隋卫平,陈国华,杨爽,王宗春.羧甲基壳聚糖与表面活性剂的相互作用[J].青岛海洋大学学报,2001,31(2):263-268.
- [12] 王正武,李干佐,李英,牟建海.皂荚素极其复配体系表面活性的研究[J].日用化学工业,2000(6):1-4.
- [13] 周莉,郝放琴,刘波.PEP聚醚型非离子表面活性剂复配体系的研究[J].功能高分子学报,2001,14(1):100-104.
- [14] 何国振,潘瑞炽.用表面活性剂提高稻苗叶片对6-BA的吸收和利用研究[J].中国水稻科学,1994,8(4):239-241.
- [15] Stevenson(夏荣基译).腐植酸化学[M].北京:北京农业大学出版社,1994.248-259.
- [16] 冯先华,董爱娥.表面活性剂与聚合物的相互作用[J].日用化学工业,2002,32(3):43-46.
- [17] 张志庆,徐桂英,叶繁,等.十二烷基甜菜碱/十二烷基硫酸钠复配体系的表面活性[J].物理化学学报,2002,17(12):1122-1125.
- [18] 叶小利,李学刚,陈时洪,王强.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.