

景旭东, 刘 源, 林海琳, 等. 共轭酱渣废油包膜肥对玉米生长的影响及膜层结构分析[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(3): 563-569.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.03.012

## 共轭酱渣废油包膜肥对玉米生长的影响及膜层结构分析

景旭东<sup>1</sup>, 刘 源<sup>2,3</sup>, 林海琳<sup>1</sup>, 阎 杰<sup>1</sup>, 梁关生<sup>4</sup>

(1. 仲恺农业工程学院化学化工学院, 广东 广州 510225; 2. 海南大学农学院, 海南 海口 570228; 3. 农业部江苏耕地保育科学观测站/江苏省农业科学院, 江苏 南京 210014; 4. 仲恺农业工程学院教学科研基地, 广东 广州 510225)

**摘要:** 为了更好地利用酱渣废弃物, 同时增加缓释包膜肥材料的来源, 从酱渣中提取废油, 共轭改性后用于制备具有缓释功能的包膜肥, 通过大田盆栽试验和红外光谱 (FTIR) 及扫描电镜 (SEM) 研究了包膜肥的实际肥效及膜层结构特征。结果表明: 玉米的株高和茎周长包膜肥组 (T1) 与无施肥组 (CK0) 和普通施肥组 (CK1) 的差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 比 CK1 分别提高了 9.5% 和 3.9%; 玉米的叶面积、叶绿素含量 3 组差异均显著 ( $P < 0.05$ ), T1 比 CK1 分别提高了 2.7% 和 3.0%, 但叶片数最终无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 玉米单株鲜质量、干质量和穗质量 3 组差异较为明显, T1 比 CK0 分别增加了 26.6%、28.0% 和 13.9%, 与 CK1 相比提高了 2.3% 和 4.3%, 说明包膜肥具有一定的增产效果; 土壤中有有机质、总氮和碱解氮含量在 30 d 后均出现显著差异 ( $P < 0.05$ ), 说明共轭废油在土壤中可生物降解并提高了有机质的含量。红外光谱 (FTIR) 及扫描电镜 (SEM) 分析结果显示, 包膜肥膜层固化后 C=C 共轭双键打开并形成了聚合物大分子, 因此缩短了成膜固化时间, 而且膜层表面较为光滑, 断面具有输送养分的疏水通道, 增加了膜层的耐水性, 提高了其缓释性能。

**关键词:** 包膜肥; 共轭酱渣废油; 肥效; 膜层结构

**中图分类号:** S145.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)03-0563-07

## Maize growth influenced by conjugated sauce residue oil-coated fertilizer and coating structure analysis

JING Xu-dong<sup>1</sup>, LIU Yuan<sup>2,3</sup>, LIN Hai-lin<sup>1</sup>, YAN Jie<sup>1</sup>, LIANG Guan-sheng<sup>4</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. College of Agronomy, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Scientific Observation and Experimental Station of Farmland Conversation and Cultivation in Jiangsu, Ministry of Agriculture/ Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 4. Teaching and Research Base, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

**Abstract:** To utilize sauce residue litter and increase the sources of slow-release fertilizer material, the oil extracted

收稿日期: 2015-10-12

基金项目: 广东省对外科技合作项目 (2014A050503065); 广州市产学研协同创新重大专项 (201508030039); 广东省省级科技计划项目 (2015B020215012)

作者简介: 景旭东 (1988-), 男, 河南登封人, 硕士研究生, 主要从事新型缓释控释包膜肥的研究。(E-mail) jxd315@163.com。刘源为共同第一作者

通讯作者: 林海琳, (E-mail) hailin008@126.com

from sauce residue was conjugated and used to manufacture slow-release coated fertilizer. The actual efficiency and coating structure of the fertilizer were studied through field pot experiment and by infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM). The maize plant height and stem girth in coated fertilizer treatment (T1) increased significantly by 9.5% and 3.9% respectively compared with conventional fertilizer treatment (CK1) and showed significant difference with

CK1 and no fertilizer treatment (CK0) ( $P<0.05$ ). There were abundant differences in maize leaf area and chlorophyll content among three treatments, and the leaf area and chlorophyll content in T1 treatment increased by 2.7% and 3.0% compared to those in CK1 ( $P<0.05$ ). Leaf number in three treatments were close. Fresh weight, dry weight and ear weight of single maize plant in T1 treatment were 26.6%, 28.0% and 13.9% higher than those in CK0, and 2.3% and 4.3% higher than those in CK1, indicating the yield-raising effect of coated fertilizer. Soil organic matter, total nitrogen and alkali-hydrolyzable nitrogen differed in three treatments after 30 d ( $P<0.05$ ), suggesting that conjugated oil was biodegradable and increased the content of organic matter in the soil. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) revealed C=C conjugated double bonds opened and formed polymer macromolecules after film solidified, which shortened the curing time. The coating surface was smooth under scanning electron microscope, with hydrophobic channel in the cross section to deliver nutrients, which improved the water resistance and slow-release properties.

**Key words:** coated fertilizer; conjugated; sauce residue oil; fertilizer efficiency; coating structure

目前,中国农作物单季化肥施用量为 306 kg/hm<sup>2</sup>,是美国用量的 2.6 倍,韩国用量的 2.0 倍,德国用量的 1.8 倍<sup>[1]</sup>。三大粮食作物氮肥、磷肥和钾肥利用率分别为 33%、24% 和 42%<sup>[2]</sup>,远远低于发达国家水平<sup>[3]</sup>。随着人口增长,中国人均耕地资源紧张,耕地污染问题较为严重,2015 年全国首次土壤普查结果显示,全国土壤污染总超标率达到 16.1%<sup>[4]</sup>,耕地土壤环境质量不容乐观。2014 年和 2015 年中央一号文件连续 2 年指出要加快肥料结构调整,积极发展新型肥料,促进农业稳定增长<sup>[5]</sup>,特别是 2015 年提出的“2020 年化肥施用零增长行动”,这些都说明为了减少化肥对土壤环境的污染问题,必须加大对新型肥料的研究和推广力度<sup>[6]</sup>。截至 2011 年,中国已成为缓释控释肥生产消费第一大国<sup>[7]</sup>。虽然缓释控释肥在市场上有多个品种,但由于平均价格是普通肥料的 2 倍之多<sup>[8]</sup>,极大地限制了其推广应用。吉林农业大学对市售的缓释控释肥做了大田试验<sup>[9]</sup>,结果表明:有一半为平产,14% 为减产,只有不到 40% 的试验田为增产。综合考虑,缓释控释肥的包膜材料不仅要廉价,还要具有高效环保的特点。中国每年产生大量废弃的油脂<sup>[10-12]</sup>。中国南方是酱油的主要产区,每年产生大量废弃酱渣。酱渣含有丰富的油脂,一些以大豆为原料的酱渣中粗脂肪含量可达 30%~50% (干基)<sup>[13]</sup>。目前对于酱渣废弃物的综合开发利用并不多见<sup>[14]</sup>,本研究从酱渣中提取废油<sup>[15]</sup>,通过共轭改性以增加其成膜性,制备具有一定缓释功能的包膜肥,并通过大田盆栽试验和红外光谱 (FTIR) 及扫描电镜 (SEM) 研究包膜肥的实际肥效和膜层成膜机理,以期对酱渣的综合利用提供理论技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与仪器

玉米品种为郑单 958。肥料:尿素,市售,含氮量 46.38%,粒径 2~4 mm;过磷酸钙,含 12.00% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;氯化钾,含 60.00% K<sub>2</sub>O。固化剂为实验室自配。仪器:数显智能控温磁力搅拌器 (SZCL-2,巩义予华仪器有限公司产品),傅里叶红外光谱仪 (Spectrum100,美国 PE 公司产品),扫描电镜 (ZEISS EVO18,德国卡尔蔡司公司产品),自动扫描黏度计 (SNB-2,上海方锐仪器有限公司产品),叶绿素含量测定仪 (TYS-B,浙江托普仪器有限公司产品),开放式调速旋转包膜机 (自行设计)。

### 1.2 共轭酱渣废油的制备

准确量取 300 ml 酱渣废油 (实验室用丙酮自提取),置于 500 ml 三头圆底烧瓶中,加入 0.5 g Ni(OH)<sub>2</sub> 催化剂和 2 号转子,在氮气保护下加热到 180 ℃,恒温反应 3 h,继续通氮气作保护,静置冷却至室温。用塑料瓶装好油品,小心挤压出瓶内空气,贴好标签后置于暗处室温保存备用。反应机理见图 1。制备的共轭酱渣废油共轭度为 79.5%,黏度为 87.6 mPa·s。

### 1.3 共轭酱渣废油包膜肥的制备

利用工业圆盘造粒机的原理,在实验室自行设计转速可调的敞开式包膜机。用自制包膜机制备包膜肥,包膜材料为共轭酱渣废油和过磷酸钙粉末,用量为尿素:过磷酸钙粉末:共轭酱渣废油 = 1.00:0.50:0.05。

### 1.4 大田盆栽试验设计

大田盆栽试验在广东省广州市仲恺农业工程学院钟村农场大田进行。土壤类型为砖红壤,含有机

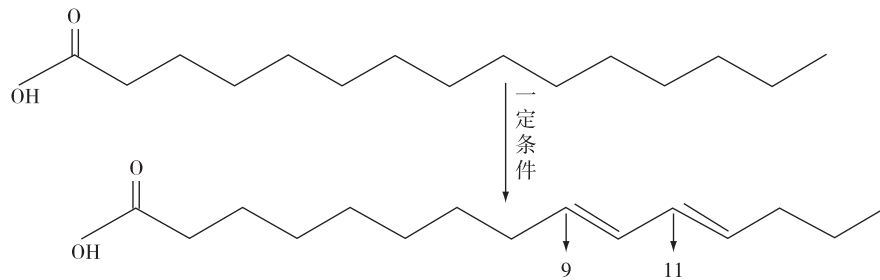


图1 共轭改性油反应机理

Fig.1 Reaction mechanism of conjugated oil

质 15.60 g/kg、全氮 0.96 g/kg、速效氮 21.30 mg/kg、速效磷 54.8 mg/kg、速效钾 156.5 mg/kg, pH 值 6.83。随机区组设计, 设置无施肥组 (CK0)、普通化肥处理组 (CK1)、包膜肥处理组 (T1)。每组 5 个重复, 每组 2 行 5 盆, 每行 2 或 3 盆, 盆距 33 cm, 行距 54 cm。塑料盆直径 25 cm×高 30 cm, 每盆装土 9 kg, 每组肥料用量及配比见表 1, 先取大田土, 然后将表 1 中的肥料分别与大田土混合, 再装入盆中。2015 年 3 月 28 日将农场自留玉米种直接播种于盆中, 1 周后定苗, 每盆定苗 1 株。分别于第 20 d、42 d、56 d、73 d 测定各项指标。6 月 15 日收割, 生长期 80 d。日常管理同田间常规。

表1 盆栽试验设计

Table 1 Potted experimental design

处理	每盆施肥量(g)			
	包膜肥	氮肥	磷肥	钾肥
CK0	0	0	0	0
CK1	0	2.08	6.67	1.34
T1	4.16	0	4.65	1.34

氮肥: 尿素, 含氮量 46.38%; 磷肥: 过磷酸钙, 含 12.00%  $P_2O_5$ ; 钾肥: 氯化钾, 含 60.00%  $K_2O$ 。

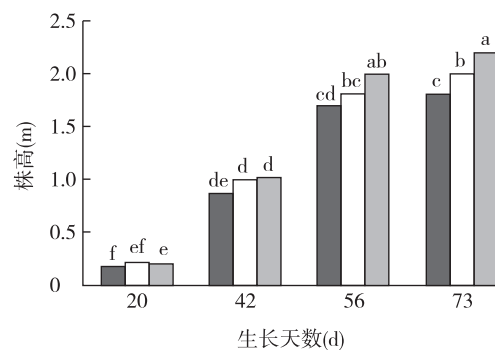
### 1.5 数据分析

试验数据用 Excel2007、Origin8.0、SPSS19.0 等软件处理分析, 显著性水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对玉米株高和茎周长的影响

随着玉米的生长, 不同施肥处理 (CK0、CK1 和 T1) 间株高和茎周长差异逐渐明显 (图 2、图 3)。由图 2 可看出, 在第 20~42 d, CK0、CK1 和 T1 处理间株高无显著差异; 在第 56 d 以后, 株高差异逐渐明

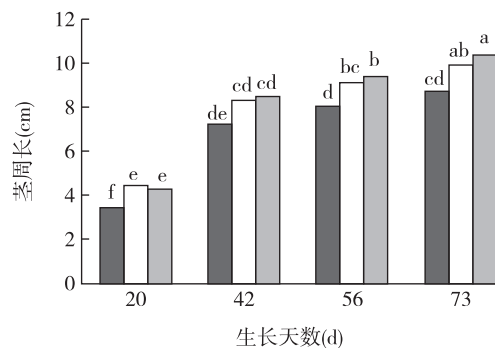


■ CK0; □ CK1; ▒ T1 施肥处理

CK0、CK1 和 T1 见表 1。不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

图2 不同施肥处理间玉米株高的变化

Fig.2 Change of maize plant height in different fertilization treatments



■ CK0; □ CK1; ▒ T1 施肥处理

CK0、CK1 和 T1 见表 1。不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

图3 不同施肥处理间玉米茎周长的变化

Fig.3 Changes of maize stem girth in different fertilization treatments

显; 第 73 d 时, CK0、CK1 和 T1 处理间株高差异均达到显著水平。说明包膜肥在后期仍能较好地提供给玉米养分, 促进其营养生长。从图 3 可以看出, 在

整个生长期,CK1 和 T1 处理玉米茎周长均显著大于 CK0,主要是因为钾元素对玉米茎增粗的影响较为明显;CK1 和 T1 处理间茎周长无显著差异。

## 2.2 不同施肥处理对玉米叶面积、叶绿素含量和叶片数的影响

玉米的叶面积和叶绿素含量能直观地反映植物的生长状态<sup>[16]</sup>,在一定程度上可以用于预测生物总量和产量。由表 2 可以看出,在 42 d,玉米由拔节期进入快速生长的抽雄期,3 组叶面积差异均显著,叶面积 T1 比 CK0 和 CK1 分别提高 13.5%、3.4%,叶绿素含量也分别提高了 4.8%、2.1%;叶片数 3 组处理间无显著差异。在第 56 d 以后,玉米的叶片基本均已展开,植株株高也停长,这时叶面积主要影响玉米后期生物总量及产量的增加,3 组之间叶面积差距逐渐拉大;在第 73 d 时 3 组叶面积差异均达到显

著水平,T1 的叶面积比 CK0 和 CK1 分别提高了 15.7%、2.7%。叶绿素含量和叶片数在第 56 d 以后 3 组的变化趋势与叶面积相似。

## 2.3 不同施肥处理对玉米单株鲜质量、干质量和穗质量的影响

从表 3 可看出,T1 与 CK0、CK1 相比,单株鲜质量分别提高了 26.7%、2.3%,单株干质量分别提高了 28.0%和 4.3%;普通化肥组 CK1 比无施肥组 CK0 单株鲜质量和干质量分别提高了 23.8%、22.6%。包膜肥组 T1 单株鲜质量和干质量在普通化肥组 CK1 的基础上提高了 2.3%和 4.3%。单株穗质量 T1 与 CK0、CK1 相比差异显著,分别增加了 13.9%、2.5%,CK1 比 CK0 增加了 11.1%,说明包膜肥在一定程度上可以提高玉米产量。

表 2 不同施肥处理下玉米叶面积、叶绿素含量和叶片数的变化

Table 2 Changes in maize leaf area, chlorophyll content and leaf number in different fertilization treatments

处理	第 42 d			第 56 d			第 73 d		
	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	叶绿素 含量(SPAD 值)	叶片数	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	叶绿素 含量(SPAD 值)	叶片数	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	叶绿素 含量(SPAD 值)	叶片数
CK0	4 154.1g	50.2f	9.5e	5 113.5d	51.3e	11d	6 315.1c	53.2c	12c
CK1	4 562.6f	51.5de	10.5de	5 964.3e	51.5de	13b	7 116.2b	56.1b	13b
T1	4 715.3e	52.6cd	10.5de	6 291.6bc	51.8d	13b	7 311.5a	57.8a	14a

CK0、CK1 和 T1 见表 1。同列数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

表 3 不同施肥处理组玉米单株鲜质量、干质量和穗质量比较

Table 3 Comparison of maize single plant fresh weight and dry weight and ear weight in different fertilization treatments

处理	单株鲜质量(kg)	单株干质量(kg)	单株穗质量(g)
CK0	1.05±0.001b	0.75±0.001b	360±0.01c
CK1	1.30±0.003a	0.92±0.004a	400±0.03b
T1	1.33±0.004a	0.96±0.005a	410±0.04a

CK0、CK1 和 T1 见表 1。同列数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

## 2.4 不同施肥处理的土壤有机质及氮含量的变化

用酱渣废油制备的包膜材料可天然降解<sup>[17]</sup>,环境友好,因此在土壤中完全无害,而且可以提供一定的有机质,促进土壤有益微生物的活动。分别在玉米拔节期(即快速生长期)、营养生长停滞期和成熟期等 3 个特殊时期测定土壤中有机质、全氮和碱解氮含量(表 4)。在第 30 d,土壤中有机质含量

CK1≈T1>CK0,而全氮和碱解氮含量 CK1>CK0≈T1,说明在玉米生长初期,土壤中微生物较为活跃。无施肥组(CK0)中由于土壤缺氮,C/N 较高,不利于微生物活动;CK1 和 T1 施肥处理降低了土壤 C/N 比,因此微生物较为活跃,加速了有机质的分解,使有机质、总氮和碱解氮含量相对较高。在第 60 d 以后,有机质含量 T1>CK1,共轭油被土壤中的有益微生物分解,产生了可利用的有机质;全氮和碱解氮含量 T1>CK1>CK0,这与土壤中的有机质含量具有一定关系。包膜肥组(T1)在后期仍能释放一定的氮元素,可在一定程度上降低 C/N 比,提高微生物活性,加快废油的分解,提高土壤中有机质含量。

## 2.5 共轭酱渣废油包膜肥膜层红外光谱分析

红外光谱(FTIR)是研究聚合物高分子结构及其化学与物理性质的有效方法<sup>[18]</sup>。图 4 是酱渣废油、共轭废油及包膜层的红外光谱图,在波数 1 680 cm<sup>-1</sup>左右酱渣废油和共轭废油都出现较强的伸缩振



表 4 不同施肥处理土壤中有有机质及氮含量的变化

Table 4 Changes of soil organic matter and nitrogen contents in different fertilization treatments

处理	第 30 d			第 60 d			第 80 d		
	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)
CK0	20.5a	1.9b	112.1c	19.9b	1.5c	96.8c	19.1c	1.3c	89.3c
CK1	21.4b	2.0a	143.6a	20.1b	1.8b	112.5b	19.5b	1.5b	96.7b
T1	21.5b	1.9b	116.2b	22.4a	1.9a	120.3a	20.6a	1.6a	109.5a

CK0、CK1 和 T1 见表 1。同列数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

动吸收峰,这是  $C=C$  的特征峰,很明显改性后酱渣废油在此处有很强的吸收峰,说明存在较多共轭双键。由于形成新的共轭双键主要是靠分子杂化的空间轨道支撑,有一定的氢键作用,所以改性后共轭废油在  $3\ 000\text{ cm}^{-1}$  左右的  $C-H$  吸收峰有一定的削弱,说明碳氢键有所减少,这正是形成共轭键造成的。包膜层在  $1\ 700\text{ cm}^{-1}$  和  $3\ 000\text{ cm}^{-1}$  左右的吸收峰有很大程度的减弱,这主要是  $C=C$  双键打开聚合形成大分子,同时消耗了本身的  $C-H$ ; 在  $1\ 100\text{ cm}^{-1}$  左右出现了较强的  $C-O$  伸缩振动峰,说明碳碳双键在聚合成膜时结合了空气中的氧,这样加快了分子聚合,同时减少了膜的固化时间。

## 2.6 共轭酱渣废油包膜肥膜层扫描电镜分析

图 5 是包膜肥膜层的表面和断面扫描电镜

(SEM)图。从图 5 可以清晰地看到膜层表面结构较为致密,有凹凸不平的层状结构,这可能是在滚动包膜时由于不均匀分布造粒形成的,但整体上表面结构平整,中间分布的大小不等的小颗粒可能是超微磷矿粉,而比较亮的结构可能是共轭废油在氧化聚合成膜时形成的,这样加固了超微磷矿粉的黏结强度,更加有利于疏水;膜层断面有较大的突起颗粒和深浅不一的小洞,这是共轭废油在成膜聚合时磷矿粉细小颗粒表面形成的大分子聚合物,而磷矿粉的不均匀分布造成聚合物的厚薄不一,以及深浅不一的小洞,从而形成养分输送的通道,同时增强了膜的疏水性能。

## 3 讨论

Hou 等<sup>[19]</sup>研究了超细微磷矿粉包膜缓释肥的

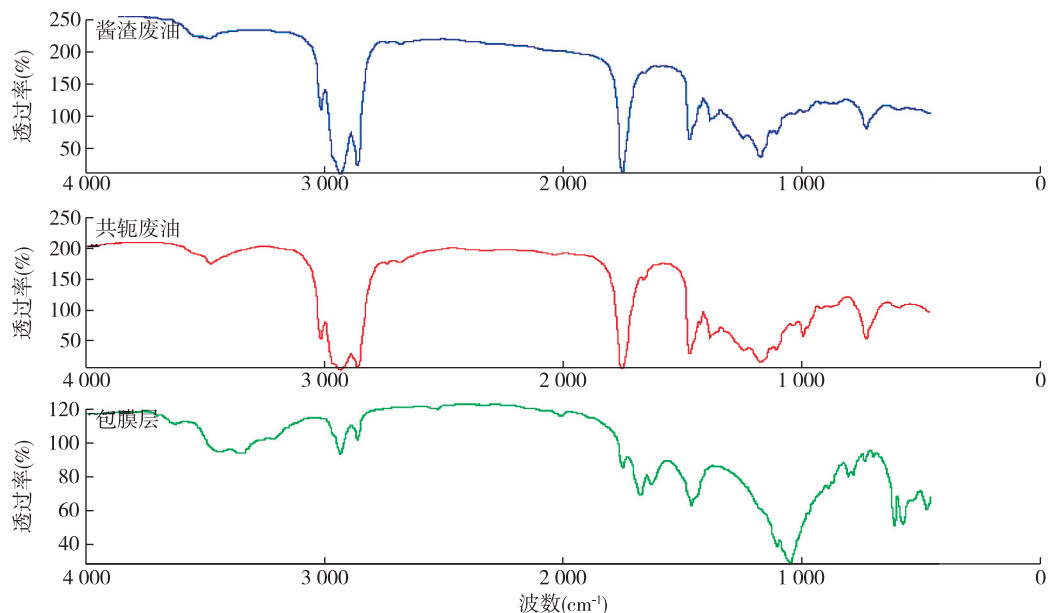


图 4 酱渣废油、共轭废油和包膜层的红外光谱图

Fig.4 Infrared spectroscopy (FTIR) of sauce residue oil, conjugated oil and coated film

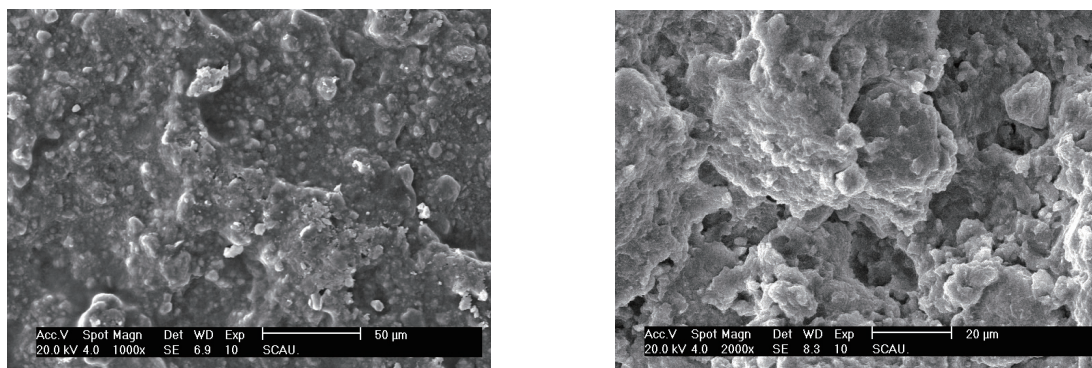


图5 共轭酱渣废油包膜肥膜层表面(左)和断面(右)扫描电镜(SEM)图

Fig.5 Scanning electron microscopy (SEM) of film surface (left) and section (right) of conjugated sauce residue oil coated fertilizer

缓释性能及其对中国大白菜生理指标的影响,发现超细微磷矿粉用量为60%时缓释效果最好,且能在植物生长后期提高叶绿素含量,平均增产18.9%~24.4%。Cheng等<sup>[20]</sup>研究了自制的新型高分子包膜肥(PRF)在中国大白菜上的实际肥效,包膜肥使用量是普通肥料的一半,使小白菜增产8.0%。本研究中,虽然包膜肥处理比普通施肥处理只增产了2.5%,但比无施肥对照提高了13.9%,增产效果明显。虽然包膜厚度对缓释效果的影响在本试验中没有进行研究,但从膜的固化时间和生产成本考虑,膜层不易过厚,至于多厚缓释效果最好,有待下一步深入研究。康日峰等<sup>[21]</sup>对生物炭基肥料的肥力进行了研究,发现土壤中有有机质含量随着生物炭的增加而增加,碱解氮呈现先降低后升高的趋势,这与本研究的结果相似。本研究中,30 d以后包膜肥处理的土壤总氮和碱解氮含量逐渐上升,土壤有机质也不断增加,这可能是共轭废油在土壤中微生物的作用下分解为有机质,而有机质可以改善土壤理化性质、生物学性质,并提供植物生长所需的营养物质<sup>[22]</sup>,对于共轭废油在土壤中的具体降解机理需要进一步研究。

Shen等<sup>[23]</sup>研制了水基丙烯酸酯乳液缓控释包膜肥,通过扫描电镜和红外光谱技术对其成膜理化性质进行了分析,发现成膜后膜层表面结构致密光滑,有类似小水珠状的大分子树脂颗粒,在波数 $3\,000\text{ cm}^{-1}$ 左右的波峰也减弱,说明成膜后碳氢键减少,这与本研究结果较为一致。包膜材料共轭废油在成膜固化时形成了大分子有机物,其 $\text{C}=\text{C}$ 双键打开,一部分聚合,一部分与空气中的氧结合,消

耗了氢,这样红外光谱中的碳氢键伸缩峰减弱。冯新等<sup>[24]</sup>研究了麦饭石缓释包膜肥膜层理化特性,其有机黏结剂中 $1\,608\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,578\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,108\text{ cm}^{-1}$ 的不饱和碳碳双键与麦饭石反应结合,且SEM观察发现膜层覆盖了一层较为平滑的有机交联物,断面分布有大小不一的小孔。本研究中共轭废油在 $1\,500\text{ cm}^{-1}$ 左右的波峰也相应减弱,说明双键已经基本打开形成了新的 $\text{C}-\text{O}$ 或 $\text{C}-\text{C}$ 单键,同时用SEM同样观测到膜表面整体上光滑平整且侧面分布有输送养分的通道,这为后期养分的释放提供了条件。至于养分是突然释放还是缓慢释放,以及膜孔大小、疏密度对释放的影响需要进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 刘敬彩,胡元珏.缓控释肥:“减肥”提效助力零增长[N].中国化工报,2015-06-03.
- [2] 景旭东,林海琳,阎杰.新型缓释/控释肥包膜材料的研究与展望[J].安徽农业科学,2015,43(2):139-141.
- [3] ERCOLI L, MASONI A, PAMPANA S, et al. As durum wheat productivity is affected by nitrogen fertilisation management in Central Italy[J]. European Journal of Agronomy, 2013,44:38-45.
- [4] 王云立.减少土壤污染重在预防[N].中国化工报,2015-06-22.
- [5] 张兴刚.化肥农药:调转将现新拐点[N].中国化工报,2015-02-03.
- [6] 王云立.农药化肥施用靠啥实现零增长[N].中国化工报,2015-04-24.
- [7] 张红雨,刘媛媛,唐双凌,等.非水溶性材料包膜缓释氮肥的养分释放特性及其对小青菜产量的影响[J].江苏农业学报,2012,28(3):513-519.
- [8] 景旭东,林海琳,阎杰.非树脂包膜型缓释肥的研究与展望[J].江西农业学报,2015,27(7):72-75.

- [9] 杨天悦,吴景贵,张志莹,等.环境友好型缓释尿素的氮素释放特性[J].水土保持学报,2014,28(1):231-236.
- [10] 左 青.我国油脂加工业现状及发展建议[J].粮油食品科技,2013(5):1-3.
- [11] 景旭东,林海琳,阎 杰,等.广东省农产品加工区域布局合理性研究——以油脂加工为例[J].山东化工,2014(11):73-75.
- [12] 刘 飞,周 岭.农林剩余物综合利用的研究现状[J].农机化研究,2015(2):230-235.
- [13] 何海芬,阎 杰,林海琳.从酱渣中制取粗脂肪的研究进展[J].食品与发酵工业,2014(10):180-183.
- [14] 阎 杰,宋光泉.值得开发的“废物”——酱油渣[J].中国调味品,2006(10):14-17.
- [15] LIN H, WEDEGAERTNER T C, MAO X, et al. A method to refine crude cottonseed oil using non-toxic polyamine-based cationic polymers[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2015,23: 379-383.
- [16] 潘瑞炽,王小菁,李娘辉.植物生理学[M].6版.北京:高等教育出版社,2010.
- [17] HARMAEN B, SAFFIAN A, KHALINA L M, et al. Thermal and biodegradation properties of poly(lactic acid)/fertilizer/oil palm fibers blends biocomposites[J]. Polymer Composites, 2015, 36(3) 221-231.
- [18] 张俐娜,薛 奇,莫志深,等.高分子物理近代研究方法[M].2版.武汉:武汉大学出版社,2006.
- [19] HOU J, DONG Y, LIU C, et al. Nutrient release characteristics of coated fertilizers by superfine phosphate rock powder and its effects on physiological traits of Chinese cabbage[J]. Journal of Plant Nutrition, 2015,38(8): 312-322.
- [20] CHENG D, WANG Y, ZHAO G, et al. Effects of polymeric slow release fertilizer on Chinese cabbage growth and soil nutrients[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2015,61(7): 211-222.
- [21] 康日峰,张乃明,静 史,等.生物炭基肥料对小麦生长、养分吸收及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2014(6):33-37.
- [22] 沈其荣,谭金芳,钱晓晴.土壤肥科学通论[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [23] SHEN Y, ZHAO C, ZHOU J, et al. Application of waterborne acrylic emulsions in coated controlled release fertilizer using reacted layer technology[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2015,23:309-314.
- [24] 冯 新,毛小云,卢其明.麦饭石混合物包膜尿素的肥效及成膜理化特征研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(4): 508-513.

(责任编辑:张震林)