

收获期油菜茎秆表面浸润特性研究*

马征 李耀明 徐立章

(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

摘要: 为获得油菜茎秆表面的浸润特性,采用 CAM101 型接触角测量仪对收获期油菜(甘蓝型)茎秆表面与二次蒸馏水和过滤菜油之间的接触角进行了测定,并以油菜品种、收获日期、测试部位和茎秆表面粉体为因素对测定结果进行了对比分析。结果表明:油菜茎秆表面与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角随测定部位离茎秆根部距离的增大而近似线性增大;茎秆表面的粉体使油菜茎秆表面呈现超疏水特性;油菜品种和收获日期对茎秆表面接触角有一定影响但无明确规律。

关键词: 油菜 茎秆 浸润特性 清选 联合收获机

中图分类号: S225.99; S313 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0098-06

引言

我国是油菜生产大国,但油菜的机械化收获水平很低,2009年的机收率仅为8.2%,远不能满足广大农户的需求^[1]。田间试验发现,在油菜联合收获机的连续作业过程中,湿粘的油菜脱出物经常粘附在清选筛筛面,进而堵塞筛孔,导致清选损失急剧上升,成为制约油菜联合收获机推广使用的一大难题^[2]。为研究油菜物料粘筛堵孔的机理,探求针对油菜物料的减粘降阻技术与方法,部分科研工作者对油菜物料的相关基本特性进行了研究^[1-6]。

研究表明,油菜脱出物与清选筛面之间的粘筛堵孔问题属湿粘农业物料与运动金属部件之间的粘附摩擦问题^[2]。固体的表面能是计算固体表面与其他物质之间相互作用的重要参数,与粘附、吸附、摩擦及生物相容性等性质密切相关^[7-12]。固体表面的浸润特性能反映固体表面所具有的表面能,并进而反映固体与其他气体、液体的吸附或粘附能力,衡量固体表面浸润特性的常用参数是气、固、液三相之间的接触角^[13-14]。浸润特性研究有助于相关表面的减粘降阻研究^[15-19]。为了研究油菜物料粘筛堵孔的机理,探求针对油菜物料的减粘降阻技术与方法,有必要研究油菜物料的浸润特性。

文献[1]中以二次蒸馏水和植物油为液相,初

步研究了油菜茎秆与角果壳的表面浸润特性。本文在文献[1]的基础上,以收获期的油菜茎秆为测试对象,选取若干因素对油菜茎秆表面的浸润特性进行进一步研究,以期后续的相关研究提供参考。

1 试验材料与方法

接触角通常包括静态接触角和动态接触角(前进角和后退角)两类,接触角的测定大都基于图像技术,具体的测定手段因客观条件和需求而略有差异^[20-23]。本文的接触角试验只测定静态接触角,且试验对象为农业物料,不同试样之间存在一定的自然差异,所需的接触角数据满足一般精度即可。试验采用的 CAM101 型接触角测量仪如图 1 所示。



图1 CAM101型接触角测量仪

Fig.1 CAM101 contact angle instrument

由大量田间试验和文献[1-2]可知,机械化收获油菜时,清选筛面的油菜物料所含的湿粘液体主

收稿日期:2013-06-13 修回日期:2013-07-30

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAD01B06)、江苏省高校自然科学基金资助项目(11KJA460002)、江苏省自然科学基金资助项目(BK2011469)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教〔2011〕8号)和江苏省2012年度普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXLX12_0624)

作者简介:马征,博士生,主要从事现代农业机械设计 & 理论研究, E-mail: benmamazheng@126.com

通讯作者:李耀明,教授,博士生导师,主要从事现代农业机械设计 & 理论研究, E-mail: ymli@ujs.edu.cn

要包含水性成分和油性成分两类,其中水性成分主要来自油菜茎秆经过脱粒滚筒打击之后所渗出的水分,油性成分主要来自油菜籽粒经过脱粒滚筒打击破碎之后所渗出的油分。二次蒸馏水和过滤菜油是典型的水性液体和油性液体,因此本文选取二次蒸馏水和过滤菜油作为接触角测定的两种液相介质。

由于可检索的公开文献中尚未发现有关影响油菜茎秆表面接触角的因素可供参考,因此本文共选取油菜品种、收获日期、测定部位和茎秆表面粉体4个可能的影响因素作为接触角试验中的考察因素。试验共分3组,第1组和第2组均为二因素三水平的全排列试验,第3组是二因素二水平的全排列试验。试验所用油菜均属于甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.),所采集的茎秆均来自同一试验田块,采集时油菜均处于黄熟阶段。接触角试验时环境温度为20℃,3组试验的因素水平分别如表1~3所示。

表1 试验1的因素水平

Tab.1 Factors level of first test

因素	水平		
油菜品种	宁油18	苏油4	浙双8
测定部位	茎秆根部	茎秆中部	茎秆顶部

表2 试验2的因素水平

Tab.2 Factors level of second test

因素	水平		
油菜品种	宁油18	苏油4	浙双8
收获日期	2011-5-20	2011-5-23	2011-5-25

表3 试验3的因素水平

Tab.3 Factors level of third test

因素	水平	
表面状态	含粉体	不含粉体
测定部位	茎秆根部	茎秆顶部

田间采集的油菜茎秆均为随机选取,排除了采样时人为选择带来的差异。对于选取的油菜,先在田间进行部分预处理(剪除角果及枝茎秆等),并确保油菜主茎秆表面的粉体为原始状态,然后将所得油菜主茎秆迅速放入实验室冰柜中进行保鲜,并立即展开试验。试验时,先截取对应部位的油菜茎秆(图2),再将截取部分制作成长30 mm、宽5 mm的茎秆试样(图3),要求试样平整、外表皮无破坏。将茎秆试样牢固地粘贴在接触角测量仪的载物台上,调整载物台下方3个高度旋钮使载物台上的茎秆试样表面保持水平,调整液相注射器高度使液相注射器位于茎秆试样正上方约5 mm高度,缓缓旋动液相注射器旋钮,使液相成液滴状并自然地落在茎秆试样表面(图4)。待液滴在茎秆试样表面稳定后,

摄像头采集图像,由计算机软件拟合出接触角数值。每个试验重复6次。

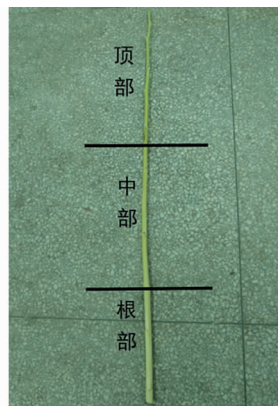


图2 茎秆接触角测试部位

Fig.2 Choice of contact angle test position on a rape stalk



图3 油菜茎秆试样

Fig.3 A rape stalk sample



图4 油菜茎秆的接触角测量

Fig.4 Contact angle test on a rape stalk

2 结果与分析

取每个试验重复6次所得接触角数据的算术平均值为最终接触角。为了表示重复试验的数据波动区间,将接触角的算术平均值与方差一起列入试验结果中。按照油菜品种、测定部位、收获日期和有无粉体4个因素,对3组试验进行对比分析。

2.1 油菜品种

在第1组和第2组试验中,均考虑了油菜品种对茎秆表面接触角的影响。图5和图6是第1组试验中液相分别为过滤菜油和二次蒸馏水时的接触角数据。图7和图8是第2组试验中液相分别为过滤菜油和二次蒸馏水时的接触角数据。

由图5可知,在油菜茎秆的3个不同测定部位,宁油18和苏油4与过滤菜油之间的接触角比较接近,但浙双8与过滤菜油之间的接触角则较小,尤其是茎秆中部和顶部的接触角与宁油18和苏油4均相差达20°。由图6可知,在3个不同测定部位,苏油4和浙双8与二次蒸馏水之间的接触角比较接近,在茎秆中部和顶部,宁油18与二次蒸馏水之间的接触角均略大于苏油4和浙双8。

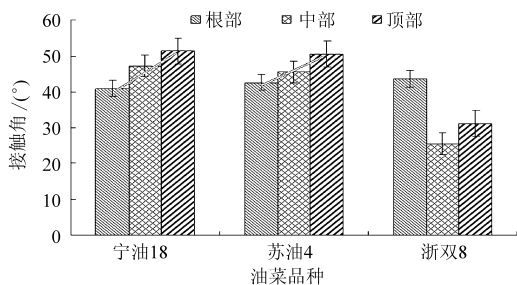


图5 不同油菜品种下液相为过滤菜油时茎秆不同部位的接触角

Fig. 5 Contact angle between rape stalk surface and filtered rapeseed oil in different rape variety and different test position conditions

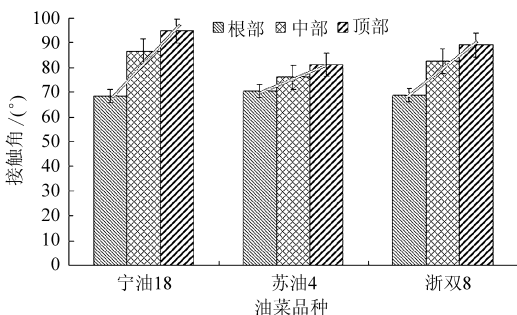


图6 不同油菜品种下液相为二次蒸馏水时茎秆不同部位的接触角

Fig. 6 Contact angle between rape stalk surface and twice distilled water in different rape variety and different test position conditions

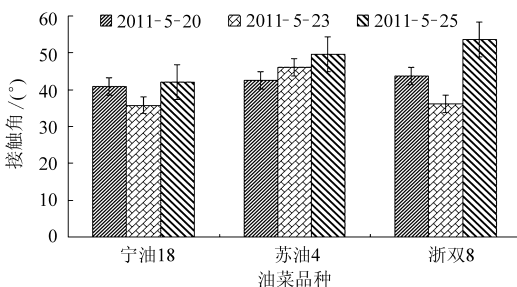


图7 不同油菜品种下液相为过滤菜油时不同收获日期茎秆的接触角

Fig. 7 Contact angle between rape stalk surface and filtered rapeseed oil in different rape variety and different harvest date conditions

由图7可知,2011年5月20日和25日收获的3个品种油菜茎秆中浙双8与过滤菜油的接触角最大,宁油18与过滤菜油的接触角最小,2011年5月23日收获的3个品种油菜茎秆中苏油4与过滤菜油的接触角最大,宁油18和浙双8与过滤菜油的接触角接近。由图8可知,2011年5月20日和25日收获的3个品种油菜茎秆,其与二次蒸馏水之间的接触角均在 70° 附近,5月23日收获的3个品种油菜茎秆中宁油18和苏油4与二次蒸馏水之间的接触角接近(均在 82° 附近)且显著大于浙双8与二次

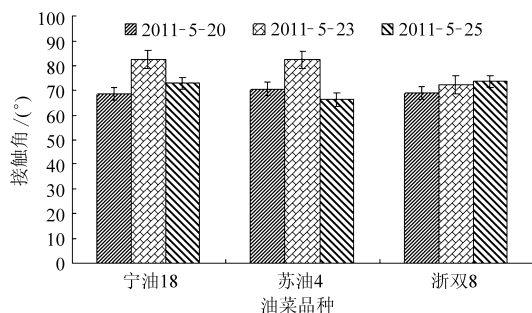


图8 不同油菜品种下液相为二次蒸馏水时不同收获日期茎秆的接触角

Fig. 8 Contact angle between rape stalk surface and twice distilled water in different rape variety and different harvest date conditions

蒸馏水之间的接触角。

综合图5~8可知,在同一测试部位或同一收获日期的条件下,油菜品种因素对油菜茎秆与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角会产生一定影响,但将其作为单因素进行考量时,其影响并无明确规律,品种因素可能还会和其他因素发生交互作用而共同影响茎秆的固液接触角。

2.2 测定部位

由图5和图6可知,对于同一油菜品种,测定部位的改变会显著地影响茎秆与过滤菜油和二次蒸馏水之间的接触角,除浙双8与过滤菜油之间的接触角测定之外,其余的5组测定均显示出相同规律:同一油菜品种条件下,茎秆顶部与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角最大,茎秆中部与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角其次,茎秆根部与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角最小。

进一步观察可以发现,除浙双8与过滤菜油之间的接触角之外,同一油菜品种中茎秆表面与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角和测定部位呈现近似的线性关系(如图5、图6中倾斜线段所示)。换言之,油菜茎秆表面与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角是随测定部位离茎秆根部距离的增大而近似线性增大的。

固液接触角越小,表示固液之间越容易亲合,反之则表示固液之间越难以亲合。上述分析表明:越靠近根部,油菜茎秆表面与湿粘液体越容易亲合;越靠近顶部,油菜茎秆表面与湿粘成分就越难以亲合。在对油菜脱出物与联合收获机清选筛面之间的减粘降阻研究中,希望油菜脱出物表面与湿粘液体的接触角越大越好,而油菜茎秆是油菜脱出物的主要成分,因此在条件许可的情况下,机械化联合收获油菜时应尽可能增大留茬高度,割取中上部的油菜茎秆进行脱离清选,从而在减轻脱粒、清选负荷的同时,

降低油菜脱出物的粘性。

2.3 收获日期

由图7可知,宁油18和浙双8与过滤菜油之间的接触角随收获日期的推迟而先减小后增大,苏油4与过滤菜油之间的接触角却随着收获日期的推迟而一直增大。由图8可知,宁油18和苏油4与二次蒸馏水之间的接触角均随着收获期的推迟而先增大后减小,浙双8与二次蒸馏水之间的接触角却随收获日期的推迟略微增大。

显然,在油菜黄熟期内,收获日期的推迟对油菜茎秆与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角所产生的影响可能会因油菜品种的不同而不同。

2.4 表面粉体

在油菜的长过程中,其主茎秆的表面会生成一层薄薄的白色粉体物质。自然条件下该粉体能长期附着在茎秆表面而不脱落,但在受外物接触干扰时则会逐渐消失。在人为抹去油菜主茎秆表面的部分粉体后,采用SMZ1000型变焦体视显微镜观察茎秆表面有无粉体时的表观形貌,所得茎秆表面灰度显微照片如图9所示。图9中左侧茎秆表面存在粉体,右侧茎秆表面没有粉体。

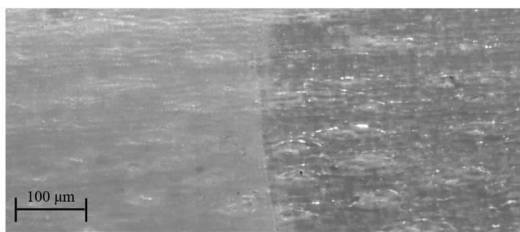


图9 油菜茎秆表面粉体的灰度显微照片

Fig.9 Gray level micro photo of powder on rape stalk surface

为了考察该白色粉体对油菜茎秆表面浸润特性的影响,以茎秆表面状态(是否存在白色粉体)和测定部位为考察因素进行了第3组接触角试验,每个试验同样重复6次,并将每个试验6次的算术平均值和方差一同列于试验结果中。按液相不同将第3组试验的结果分别列于图10和图11中。

由图10可知,茎秆顶部表面含有粉体时与过滤菜油之间的接触角显著小于茎秆顶部表面不含粉体时的接触角(相差约 30°),茎秆根部表面含有粉体时与过滤菜油之间的接触角也同样显著小于茎秆根部表面不含粉体时的接触角(相差约 20°)。因此,茎秆表面的白色粉体会增大茎秆表面与油性物质的亲合能力,不利于茎秆物料的脱附。

茎秆顶部表面含有粉体时与二次蒸馏水之间的接触角已接近 150° (图11),显示出超疏水特性(图12),并显著地大于茎秆顶部表面不含粉体时与二次蒸馏水之间的接触角(相差约 60°),同样茎秆

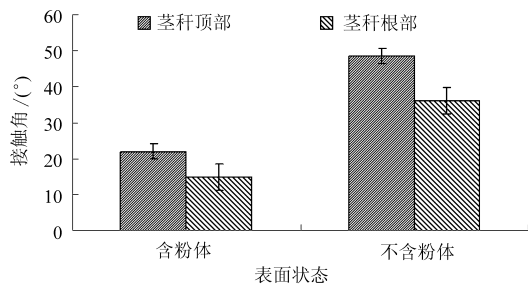


图10 不同表面状态下液相为过滤菜油时茎秆不同部位的接触角

Fig.10 Contact angle between rape stalk surface and filtered rapeseed oil in different surface state and different test position conditions

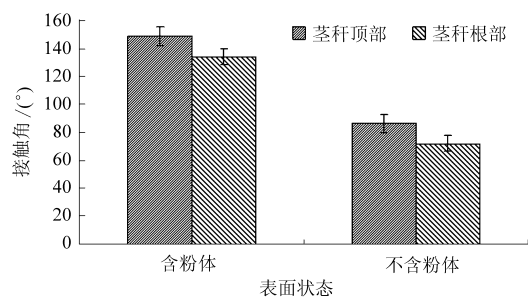


图11 不同表面状态下液相为二次蒸馏水时茎秆不同部位的接触角

Fig.11 Contact angle between rape stalk surface and twice distilled water in different surface state and different test position conditions

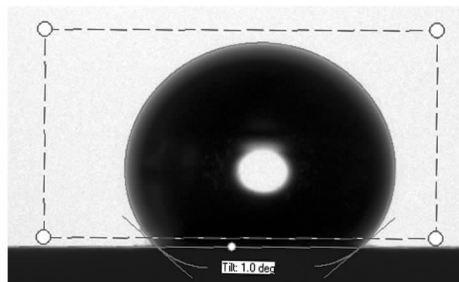


图12 二次蒸馏水与油菜茎秆表面粉体之间的接触角图像
Fig.12 Image of contact angle between twice distilled water and powder on rape stalk surface

根部表面含有粉体时的接触角接近 140° ,也显示出超疏水特性,并显著地大于茎秆根部表面不含粉体时的接触角(相差约 60°)。这说明,茎秆表面的白色粉体能显著地增大茎秆表面与潮湿水性物质的疏水能力,有利于茎秆物料的脱附。

固液接触角能够反映固体表面能的高低,固体表面能是固体基本属性之一,在同一环境条件下固体表面能是常量而非变量。但从上述分析可见:与表面无白色粉体相比,在油菜茎秆表面含有白色粉体的条件下,茎秆表面与过滤菜油之间的接触角减小表明白色粉体使茎秆表面能提高了,但茎秆表面与二次蒸馏水之间的接触角显著增大则表明白色粉

体使茎秆表面能降低了,即白色粉体既使茎秆表面能增大,又使茎秆表面能减小,这显然是不可能的,试验似乎出现了矛盾的结果。

事实上,对试验过程进行仔细观察后发现:当过滤菜油滴在油菜茎秆表面时,茎秆表面的粉体与过滤菜油发生了不易察觉的融合。该融合过程可能是茎秆表面粉体溶解于过滤菜油的物理过程,也可能是两者发生了某种化学反应。虽然该融合现象的本质过程及其对接触角产生影响的作用机理还需要进一步研究才能确定,但存在这一融合现象的本身已经说明了此处所测接触角并非典型意义上的固液接触角,用典型意义上固液接触角与固体表面能高低之间的关系对其进行解释就出现了这一似乎矛盾的结果。

大量田间试验表明,机械化收获油菜时,清选筛

面的油菜物料所含水性成分在含量上要显著高于油性成分。考虑到油菜茎秆表面始终是亲油性的,但茎秆表面白色粉体的存在能使其呈现超疏水特性,这极有利于茎秆物料的脱附。

3 结论

(1)油菜品种对油菜茎秆与过滤菜油和二次蒸馏水之间接触角的影响规律不明确,收获日期的推迟对油菜茎秆与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角所产生的影响会因油菜品种的不同而不同。

(2)油菜茎秆表面与过滤菜油、二次蒸馏水之间的接触角随测试部位离茎秆根部距离的增大而近似线性增大,表明中上部的油菜茎秆更具疏水能力。

(3)油菜茎秆表面的白色粉体使油菜茎秆表面呈现超疏水特性和亲油特性。

参 考 文 献

- 1 马征,李耀明,徐立章.油菜漂浮速度、摩擦与浸润特性的测定与分析[J].农业工程学报,2011,27(9):13-17.
Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Testing and analysis on rape characteristics in floating, friction and wettability [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9):13-17. (in Chinese)
- 2 李耀明,马征,徐立章.油菜联合收获机筛面粘附物摩擦特性[J].农业机械学报,2010,41(12):54-57.
Li Yaoming, Ma Zheng, Xu Lizhang. Tribological characteristics of adhesive materials on rape cleaning sieve[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(12):54-57. (in Chinese)
- 3 徐立章,李耀明,马征.油菜清选仿生减粘防堵试验研究[C]//2010国际农业工程大会论文集,2010:179-182.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Ma Zheng. Experiment on reduction of rape extraction adhesion force and sieve hole clogging by tribological technology[C]//International Agricultural Engineering Conference, 2010:179-182. (in Chinese)
- 4 Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Bionic desorption & damp-tiny material screening technology and their use in rape cleaning [C]//2011 International Conference on New Technology of Agricultural Engineering,2011:189-193.
- 5 徐立章,马征,李耀明.激光改形油菜清选筛面基体浸润特性研究[J].农业机械学报,2011,42(增刊):168-171.
Xu Lizhang, Ma Zheng, Li Yaoming. Wettability of rape cleaning screen surface by laser-textured[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(Supp.):168-171. (in Chinese)
- 6 马征,李耀明,徐立章.仿生非光滑筛面近筛层微观气流场研究[J].农业机械学报,2011,42(增刊):74-77.
Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Micro flow field on adjacent screen of bionic nonsmooth cleaning screen[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(Supp.):74-77. (in Chinese)
- 7 顾惕人,朱步瑶,李外浪,等.表面化学[M].北京:科学出版社,2001.
- 8 Sharma P K, Hanumantha R K. Adhesion of paeniba-cillus polymyxa on chalcopyrite and pyrite: surface thermo dynamics and extended DLVO theory [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, 29(1):21-38.
- 9 邱冠周,胡岳华,王淀佐.颗粒间相互作用与细粒浮选[M].长沙:中南工业大学出版社,1993.
- 10 张开.高分子界面科学[M].北京:中国石化出版社,1997.
- 11 托马斯 E L.聚合物的结构与性能[M].施良和,沈静涿,译.北京:科学出版社,1999.
- 12 潘慧铭,黄素娟.材料的表面能与粘接界面的酸碱作用[J].粘接,1999,20(增刊1):5-8.
Pan Huiming, Huang Sujuan. Surface energy of materials and acid-base interaction in adhesion interface[J]. Adhesion in China, 1999,20(Supp.1):5-8. (in Chinese)
- 13 张际先.接触角和固体表面自由能[J].江苏工学院学报,1985(4):91-99.
Zhang Jixian. Contact angle and solid surface free energy[J]. Journal of Jiangsu Institute of Technology, 1985(4):91-99. (in Chinese)
- 14 张世举,程延海,邢方方,等.接触角与表面自由能的研究现状与展望[J].煤矿机械,2011,32(10):8-10.
Zhang Shiju, Cheng Yanhai, Xing Fangfang, et al. Study on contact angle and surface free energy current situation and prospect [J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(10):8-10. (in Chinese)
- 15 汤勇,周明,韩志武,等.表面功能结构制造研究进展[J].机械工程学报,2010,46(23):93-105.
Tang Yong, Zhou Ming, Han Zhiwu, et al. Recent research on manufacturing technologies of functional surface structure [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(23):93-105. (in Chinese)

- 16 高吭,李玉柱,佟金. 东方蝼蛄膜翅表面形态与润湿性[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7):220-222.
Gao Hang, Li Yuzhu, Tong Jin. Surface morphology and wettability of the membranous wing of the oriental mole cricket (*Grylotalpa orientalis* Burmeister)[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7):220-222. (in Chinese)
- 17 孙明霞,郑咏梅,梁爱萍. 昆虫体表疏水性研究进展[J]. 中国科学院研究生院学报, 2011, 28(3):275-287.
Sun Mingxia, Zheng Yongmei, Liang Aiping. Progress in research in hydrophobic property of insect body surface[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2011, 28(3):275-287. (in Chinese)
- 18 赵文杰,王立平,薛群基. 织构化提高表面摩擦学性能的研究进展[J]. 摩擦学学报, 2011, 31(6):622-631.
Zhao Wenjie, Wang Liping, Xue Qunji. Development and research progress of surface texturing on improving tribological performance of surface[J]. Tribology, 2011, 31(6):622-631. (in Chinese)
- 19 韩志武,邱兆美,王淑杰,等. 植物表面非光滑形态与润湿性的关系[J]. 吉林大学学报:工学版, 2008, 38(1):110-115.
Han Zhiwu, Qiu Zhaomei, Wang Shujie, et al. Relationship between non-smooth appearance and wettability of plant leaf surface [J]. Journal of Jilin University :Engineering and Technology Edition, 2008, 38(1):110-115. (in Chinese)
- 20 徐志钮,律方成,刘云鹏,等. 动、静态接触角计算软件及在硅橡胶憎水性检测中的应用[J]. 高电压技术, 2011, 37(5):1158-1165.
Xu Zhiniu, Lü Fangcheng, Liu Yunpeng, et al. Dynamic and static contact angle calculation software and its application to silicone rubber hydrophobicity detection[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(5):1158-1165. (in Chinese)
- 21 邱白晶,赵晓丽,贾卫东,等. 基于图像的植物叶面雾滴接触角稳定区间法测量[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5):139-144.
Qiu Baijing, Zhao Xiaoli, Jia Weidong, et al. Stable interval method based on images to measure drop contact angles on plant leaf surfaces[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5):139-144. (in Chinese)
- 22 宁乔,朱志强,吕旭涛,等. 图像法求液滴表面张力和接触角[J]. 空间科学学报, 2008, 28(1):74-79.
Ning Qiao, Zhu Zhiqiang, Lü Xutao, et al. Determine the surface tension and contact angle of drop by image processing method [J]. Chinese Journal of Space Science, 2008, 28(1):74-79. (in Chinese)
- 23 王晓辉,李军建,杨威,等. 接触角的图像处理与检测[J]. 光电子技术, 2011, 31(1):14-19.
Wang Xiaohui, Li Junjian, Yang Wei, et al. Measurement on contact angles based on image process [J]. Optoelectronic Technology, 2011, 31(1):14-19. (in Chinese)

Wetting Property of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Stalk Surface

Ma Zheng Li Yaoming Xu Lizhang

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education,
Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: To obtain wetting property of rapeseed (*Brassica napus* L.) stalk surface, a CAM101 type contact angle tester was used to test the contact angle between rape stalk surface and twice distilled water & filtered rapeseed oil. Comparative analysis was made to the test on which rape variety, harvest date, test position and powder on rape stalk surface were introduced as factors. The results showed that the contact angle between rape stalk's surface and twice distilled water & filtered rapeseed oil approximately increased linearly along with the increase of distance between test position and stalk root, and the powder on rape stalk surface made it a superhydrophobic surface. It was also shown that rape variety and harvest date had an uncertain influence on the contact angle between rape stalk surface and twice distilled water & filtered rapeseed oil.

Key words: Rape Stalk Wetting property Cleaning Combine harvester