

苹果叶片近轴面(正面)润湿性的时空分布研究

张鹏九¹, 刘中芳¹, 史高川², 赵劲宇¹, 樊建斌¹, 杨静¹, 范仁俊^{1*}, 高越^{1*}

(¹农业有害生物综合治理山西省重点实验室·山西省农业科学院植物保护研究所, 太原

030031; ²山西省农业科学院棉花研究所, 山西运城 044000)

摘要:【目的】以水为研究对象,通过系统研究苹果叶片近轴面(正面)不同生长期润湿性能的变化规律,提出不同时期苹果树农药剂型的选择依据,同时为研究其他作物叶表面润湿性提供一种新思路。【方法】应用纵横网格平均法和插值法分析苹果树4个不同生长期叶片近轴面(正面)不同区域与水的接触角,并通过常用的3种农药剂型在推荐浓度下与果实膨大后期苹果叶片的接触角加以对比验证。【结果】落花期全叶的平均接触角为(81.25±3.77)°,幼果期全叶的平均接触角为(86.73±3.42)°,果实膨大期增至(89.54±3.50)°,果实膨大后期全叶的平均接触角为(94.63±3.74)°,而且3种农药剂型与苹果叶片的接触角均小于水与苹果叶片的接触角。【结论】苹果叶片近轴面(正面)的润湿性能随生长期逐渐变差,全叶的接触角为非左右轴对称分布,叶缘部位的接触角低于中心主叶脉部位;纵横网格平均法结合插值法,是分析苹果叶片接触角时空分布的一种可行方法;以水为研究对象,落花期和幼果期苹果叶片近轴面(正面)大多数部位的接触角小于90°,表明水可以较好地润湿新叶,此时选择表面活性剂、有机溶剂较少的水基化农药剂型即可;果实膨大期和膨大后期苹果叶片近轴面(正面)大多数部位的接触角大于90°,说明果实膨大期和膨大后期的叶片不易被水润湿,需采用农药药液体系内含有有机溶剂、助剂较多的制剂。

关键词: 苹果叶片;润湿性;接触角;纵横网格平均法;剂型

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)05-0557-08

A study of the spatiotemporal wettability of the adaxial surface of apple leaves

ZHANG Pengjiu¹, LIU Zhongfang¹, SHI Gaochuan², ZHAO Jinyu¹, FAN Jianbin¹, YANG Jing¹, FAN Renjun^{1*}, GAO Yue^{1*}

(¹Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture·Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, Shanxi, China; ²Institute of Cotton Research, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000, Shanxi, China)

Abstract: 【Objective】 Change in the wettability of the adaxial or upper surface of apple leaves was studied at different growth periods during fruit development. Based on the result, the choice of pesticide formulations was recommended for apple in different growth periods. The study also provided a new idea for studying surface wettability of plant leaves. 【Methods】 The contact angle of water drop at different areas of the adaxial surface of apple leaves was analyzed at stages of flower withering, young fruit, fruit expansion and late fruit expansion period using horizontal and vertical grid average method. Then a contour map of contact angle distribution was constructed for apple leaf with interpolation method. The contact angles between the commonly used pesticides (beta-cypermethrin EC, tebuconazole SC and lambda-cyhalothrin EW) droplets and apple leaf were also measured at the recommended concentra-

收稿日期:2017-09-28 接受日期:2018-01-30

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD020030502);农药有害生物综合治理山西省重点实验室开放课题(YHSW2015003);山西省农业科学院科技自主创新能力提升工程项目(2017zzcx-15);山西省农业科技成果转化和推广示范工程(2015CGZH041);山西省重点研发计划(201603D21110-2, 2015-TN-03-09)

作者简介:张鹏九,男,助理研究员,研究方向为农药高效利用与果树病虫害综合防治。Tel: 13734005193, E-mail: mss_1105@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: rjfan@163.com; E-mail: gaoyue1207@sina.com

tions. 【Results】 The contact angles in different growth periods showed a defined pattern. At the stage of flower withering, the average contact angle of the whole leaf was $(81.25\pm 3.77)^\circ$. The contact angle at leaf margin was smaller than that in the middle area. The contact angle on the left side of the leaves was smaller than that on the right side. The largest contact angle was located in right middle area. At the stage of young fruit, the contact angle of whole leaf was $(86.73\pm 3.42)^\circ$. It increased to $(89.54\pm 3.50)^\circ$ at the stage of fruit expansion. The contact angle distribution in apple leaf during young fruit period and fruit expansion was similar to that at flower withering stage. During the late period of fruit expansion, the contact angle of whole leaf increased to $(94.63\pm 3.74)^\circ$. The contact angle was similar on both sides of the leaf margin, being smaller at the leaf apex than at the leaf base. Based on the hydrophobicity of the cuticle layer in apple leaf and the organic solvent or additives in the pesticide, the contact angle between pesticide formulations and apple leaf being lower than that between water and apple leaf could be judged preliminarily. Therefore, the requirement of wettability could be satisfied by choosing water-based formulations for apple trees at flower withering and young fruit stages. However, at fruit expansion and late fruit expansion period, the wettability might be affected by water-based formulations and EC was a reliable choice to ensure the wettability. In order to justify the judgment, the contact angles between apple leaf and beta-cypermethrin EC, tebuconazole SC and lambda-cyhalothrin EW were measured in the late fruit expansion period. The average contact angles of beta-cypermethrin EC, tebuconazole SC, lambda-cyhalothrin EW in apple leaves were $(67.50\pm 3.86)^\circ$, $(85.43\pm 2.51)^\circ$ and $(83.17\pm 3.49)^\circ$, respectively, which are smaller than the contact angle of water and apple leaf. 【Conclusion】 The wettability of the adaxial surface of apple leaves became poorer with fruit development. The contact angle distribution of whole leaf was non axisymmetric. The contact angle at leaf margin was smaller than that in the middle part. With the apple trees growing stage, horizontally, the contact angle of leaf margin in the left was smaller than that in the right during blossom wither, young fruit stage and stage of fruit enlargement, but the contact angle of leaf margin in the left was similar with that in the right during late stage of fruit enlargement. Longitudinally, the contact angle of leaf apex was similar with that of leaf base during blossom wither, young fruit stage and stage of fruit enlargement, but the contact angle of leaf apex was smaller than that of leaf base during late stage of fruit enlargement. The contact angles in most areas of apple leaves were lower than 90° at flower withering and young fruit period, indicating the apple leaf surface was highly wettable. Therefore water-based formulations contained less organic solvent and additives could be chosen. But the contact angles in most areas of apple leaves were greater than 90° during fruit expansion and at the late fruit expansion period, indicating the apple leaf was poorly wettable. Therefore, the EC formulations containing high organic solvent and additive recommended for apple tree in these stages. It should be noted that the interpolation method could be used as a supplement to the horizontal and vertical grid average method, which was a feasible method to study the spatiotemporal distribution of the wettability in apple leaves. The distribution of contact angle of water on apple leaf surface could be used as a reference for the choice of pesticide formulations for apple tree. It is of significance to reduce the use of the organic solvent and the environmental impact of pesticides.

Key words: Apple leaf; Wettability; Contact angle; Horizontal and vertical grid average method; Formulations

在病虫害化学防治中,农药制剂对环境的影响一直是我国乃至国际上颇受关注的问题。特别是在苹果园中,年平均施药次数为8~15次^[1],农药剂型所

含的有机溶剂、助剂等成分,会对环境造成不可忽视的影响^[2]。据农药信息网数据显示,在苹果树上登记的农药剂型包括乳油、水基化制剂(水乳剂、微乳

剂、悬浮剂)、水分散粒剂、可湿性粉剂等。其中,乳油占比最高,为31.2%,水基化制剂为22.5%。这些农药制剂中有机溶剂、助剂的含量取决于农药制剂本身的性质(不同农药剂型含有不同的有机溶剂)、施药器械、靶标表面性质等,其中靶标表面润湿性能对农药剂型的选择及加工至关重要^[3-5]。因此,基于靶标表面润湿性能指导农药剂型的选择,并结合不同生长期靶标表面润湿性能,建立农药剂型的用药策略,对有效控制有机溶剂的用量、降低农药制剂的环境影响具有现实意义。

药液性质和靶标表面性质是影响药液在靶标表面润湿性能的主要因素。目前关于药液性质对靶标表面润湿性能的影响已有大量研究^[6-8],而针对靶标表面性质对润湿性能的影响则少有报道。刘红亮等^[9]、Hall等^[9]在对水稻、玉米、小麦、甘蓝、黄瓜等1 a(年)或多年生草本作物润湿性能的研究中发现,不同靶标表面性质对润湿性能具有一定影响^[10-13];顾中言等^[10]进一步探讨了靶标表面性质影响润湿性能的原因,指出不同靶标表面润湿性能的差异主要取决于叶表面的微观结构,其中上表皮蜡质层的存在是其主要原因^[9]。需要指出的是,目前的研究对象多数为适宜在实验室栽培的草本作物,而对田间种植的乔化果树研究较少,在有限的乔化果树润湿性能研究中,大多探讨的是全叶的平均润湿性能,然而乔化果树全叶不同部位的润湿性能分布对系统评价靶标表面润湿性能更具实际价值,因此,研究乔化果树不同生长期全叶润湿性能的动态分布非常必要。

笔者以水为研究对象,采用纵横网格平均法、插值法研究不同生长期苹果叶片近轴面与水的接触角分布特征,以期揭示苹果叶片近轴面润湿性的时空动态变化规律,从而为不同生长期乔化果树的农药剂型选择提供指导,并为其他作物叶片表面润湿性的研究提供一种可行的分析方法。

1 材料和方法

1.1 仪器及试剂

OCA-20 接触角测量仪(德国 Dataphysics 公司);HX-1050 恒温循环器(北京博医康实验仪器有限公司);去离子水(成都优普 UPH-I-20T);2.5%(ω ,后同)高效氯氰菊酯乳油(江苏辉丰农化股份有限公司);30%戊唑醇悬浮剂(青岛星牌作物科学有限公司);2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂(江苏省激素研究

所股份有限公司)。

1.2 供试靶标

2016年于山西省太谷县采摘苹果树叶(品种为‘富士’),采摘日期分别为5月3日(落花期)、6月5日(幼果期)、7月5日(果实膨大期)和8月5日(果实膨大后期)。采摘日期的选择依据为:4个时期均为果农施药高峰期。采摘苹果树叶的标准为:采摘前15 d未施药的苹果树叶。

1.3 方法

采集不同生长期的新鲜苹果叶片,为尽量减小叶片个体差异所带来的实验误差,在每个时期样品采集过程中,选择长势树龄一致的5棵苹果树,在每棵苹果树东西南北4个方位的上中下共12个位置,选取当年生枝条的中部成叶各5枚(大小、颜色、厚度基本一致,每棵树60枚树叶,每个生长期共计300枚树叶)。并将其置于密封袋中,冰箱内4℃保存。测量时,将苹果叶片浸泡于去离子水中3 min取出,自然风干,用记号笔将叶片正面横向5等分(H1~H5),纵向4等分(L1~L4),见图1。沿叶片正面纵向裁剪成条形片段,用双面胶将其固定在载玻片上,轻轻压实。采用躺滴法测量水在叶片上的接触角,所谓接触角,即从固-液-气三相的交界处,由固-液界面经过液体内部至液-气界面的夹角,接触角越大说明固体润湿性越差,反之接触角越小说明润湿性越好。当液体在叶片表面的接触角 $q > 90^\circ$ 时,润湿性差,液体容易从叶片表面滚落。当液体在

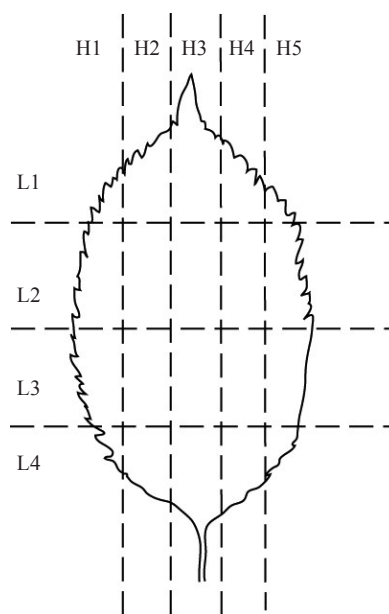


图1 苹果叶片正面网格化示意图

Fig. 1 Sketch map of meshing apple leaf

叶片表面的接触角 $q < 90^\circ$ 时,液体能牢固地附着在叶片表面,甚至能完全铺展在叶片表面。本试验使用 OCA-20 接触角测量仪自带注射器,注出 $0.5 \mu\text{L}$ 探测液滴,调节工作台,使工作台表面接收液滴,开始计时,30 s 后待液滴在固体表面稳定后,拍摄图像,测量液滴在叶表面接触角。通过此操作依次测量纵向每格中水滴在叶片表面的接触角,每个网格内重复试验至少 5 次,取其平均值。

再将同一时期的苹果树叶每个网格内的数据进行平均计算,以上对苹果叶片接触角的分析方法笔者定义为横纵网格平均法。

以水为研究对象,通过考察水与苹果叶片的接触角分布,进而指导苹果树农药剂型选择的有效性,选择 3 种登记于苹果树上的常用农药制剂:2.5% 高效氯氰菊酯乳油、30% 戊唑醇悬浮剂和 2.5% 高效氯氟氰菊酯水乳剂,按照推荐浓度,在果实膨大后期的苹果叶片上进行接触角测量,测试方法同上。

2 结果与分析

2.1 苹果叶片纵向接触角分布特征

表 1 为苹果叶片纵向接触角分布情况,无论是落花期、幼果期、果实膨大期还是果实膨大后期的苹果叶片,L3(纵向叶中部偏下,见图 1)的接触角均为最大,这表明苹果叶片 L1(纵向叶尖部)和 L4(纵向叶基部)的接触角始终低于 L2(纵向叶中部偏上)和 L3(纵向叶中部偏下)。此外,L1、L2 和 L4 的接触角分布会随苹果叶片的不同生长期呈现一定规律,在落花期和幼果期时,L1、L2 和 L4 的接触角基本相同,且无显著差异,而处于果实膨大期的苹果叶片,

表 1 苹果叶片纵向接触角分布

Table 1 Longitudinal distribution of contact angle in apple leaf

纵向接触角 Longitudinal contact angle/ $^\circ$				
部位 Part	落花期 Flower withering	幼果期 Young fruit stage	果实膨大期 Stage of fruit expansion	果实膨大后期 Late stage of fruit expansion
L1	79.50 \pm 3.22 a	86.01 \pm 3.33 a	87.95 \pm 3.66 a	90.51 \pm 4.71 a
L2	81.14 \pm 3.70 a	86.88 \pm 3.40 a	89.48 \pm 3.44 b	96.71 \pm 3.10 c
L3	84.95 \pm 3.64 b	88.83 \pm 3.01 b	92.41 \pm 3.04 c	97.14 \pm 3.22 c
L4	79.40 \pm 4.98 a	85.22 \pm 5.23 a	88.31 \pm 5.02 ab	94.17 \pm 3.00 b

注:同列的不同字母表示在 $p < 0.05$ 差异显著(Duncan 新复极差法)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant differences at $p < 0.05$ by Duncan's new multiple range test. The same below.

L2 和 L4 的接触角大于 L1,且有显著性差异,当进入果实膨大后期时,L2 和 L4 的接触角大于 L1 的趋势更加明显。

2.2 苹果叶片横向接触角分布特征

表 2 为苹果叶片横向接触角分布情况,在苹果叶片的落花期、幼果期、果实膨大期和果实膨大后期 4 个时期,H4(主叶脉偏右,见图 1)的接触角均为最大。但不同时期苹果叶片的横向接触角自左向右呈现不同规律,落花期横向接触角自左向右逐渐增大,到 H4 为最大,随后 H5(右叶缘)的接触角呈显著减小趋势;幼果期与果实膨大期的横向接触角自左向右虽同为渐增趋势,但增至 H3(中心主叶脉)时趋于平缓,H3、H4 和 H5 的横向接触角无显著差异;果实膨大后期则与上述 3 个时期都不相同,呈现出靠近中心主叶脉高、靠近叶缘部低的分布规律。以上不同时期横向接触角的分布规律表明,苹果叶片横向接触角的分布并非左右对称,左侧叶缘接触角均低于右侧叶缘接触角,在落花期、幼果期和果实膨大期较为明显。

表 2 苹果叶片横向接触角分布

Table 2 Horizontal distribution of contact angle in apple leaf

横向接触角 Horizontal contact angle/ $^\circ$				
部位 Part	落花期 Flower withering	幼果期 Young fruit stage	果实膨大期 Stage of fruit expansion	果实膨大后期 Late stage of fruit expansion
H1	75.41 \pm 3.96 a	82.30 \pm 4.37 a	83.28 \pm 4.26 a	91.50 \pm 3.86 a
H2	80.33 \pm 5.15 b	84.68 \pm 3.49 b	87.86 \pm 3.45 b	92.43 \pm 4.51 a
H3	83.88 \pm 3.09 cd	88.86 \pm 2.66 c	91.96 \pm 2.90 c	96.17 \pm 3.49 b
H4	84.44 \pm 2.74 d	89.19 \pm 2.43 c	92.55 \pm 2.47 c	97.88 \pm 3.25 b
H5	82.19 \pm 3.31 c	88.39 \pm 2.52 c	92.04 \pm 2.98 c	92.87 \pm 4.83 a

采用横纵网格平均法,基于苹果叶片纵向和横向接触角分布特征,最终确定落花期、幼果期、果实膨大期和果实膨大后期的平均接触角依次为 $(81.25 \pm 3.77)^\circ$ 、 $(86.73 \pm 3.42)^\circ$ 、 $(89.54 \pm 3.50)^\circ$ 和 $(94.63 \pm 3.74)^\circ$,随生长发育接触角逐渐增大,且就横向而言,左侧叶缘接触角从小于右侧叶缘接触角逐渐发展为两者接近;就纵向而言,叶片尖部和基部接触角从两者相似逐渐发展为叶尖部接触角低于叶基部接触角。以上分析表明,苹果叶片随着生长期变化接触角呈规律性变化。

2.3 苹果全叶片接触角时空分布特征

横纵网格平均法虽可以得到苹果叶片近轴面(正面)的接触角分布特征,但由于网格划分的局限

性,使近轴面(正面)的接触角分布信息较为有限,难以给出苹果全叶片接触角分布的概念,故进一步采用插值法对同一时期测得的苹果叶片接触角进行数据处理,假设苹果叶片每个方格内的平均接触角为方格中心点的接触角,据此数据进行插值计算,从而形成同一时期苹果全叶片接触角的等高线图,相似地,可获得落花期、幼果期、果实膨大期和果实膨大后期4个时期的接触角等高线图(图2~图5),图中X轴表示叶横向,Y轴表示叶纵向,图例中颜色深浅对应的数据表示接触角的大小。

从不同时期的接触角分布可以看出,落花期,叶缘左右两侧的接触角小于中心主叶脉部位,较大的接触角分布于全叶片中间右下方区域(图2)。幼果期,苹果全叶片接触角整体增大,叶缘部位的接触角小于中心主叶脉部位,叶缘右侧的接触角明显大于叶缘左侧,叶尖部与叶基部的接触角趋于相同,最大接触角依然位于全叶片中间右下方区域(图3)。果实膨大期,苹果叶片接触角超过90°的区域变大,叶缘左侧的接触角明显小于叶缘右侧,叶尖部的接触角逐渐小于叶基部(图4)。果实膨大后期,苹果全叶片接触角整体大幅增加,除叶尖部左右两侧叶缘处的接触角小于90°外,其他部位的接触角均超过90°。叶尖部的接触角大于叶基部,但叶基两侧的接触角要高于叶尖两侧。

通过比较苹果全叶片4个时期的接触角分布等高线图,可以看出苹果叶片的接触角分布并非左右轴对称,最大接触角主要分布于叶片中间右下方区域,这可能与叶片生长角度不同从而导致所受光照

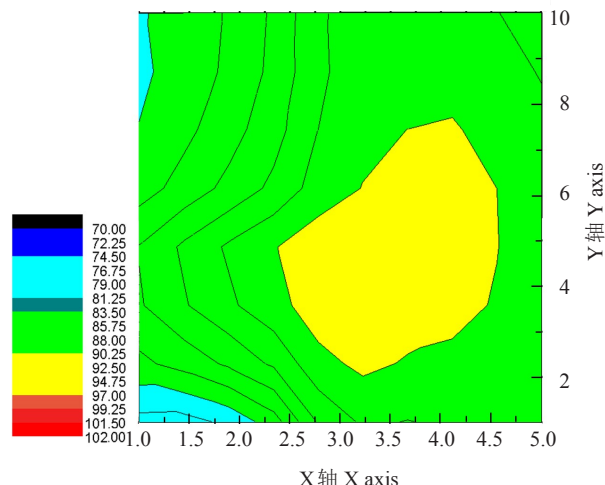


图3 幼果期苹果全叶片接触角分布

Fig. 3 Contact angle distribution in the whole apple leaf at young fruit stage

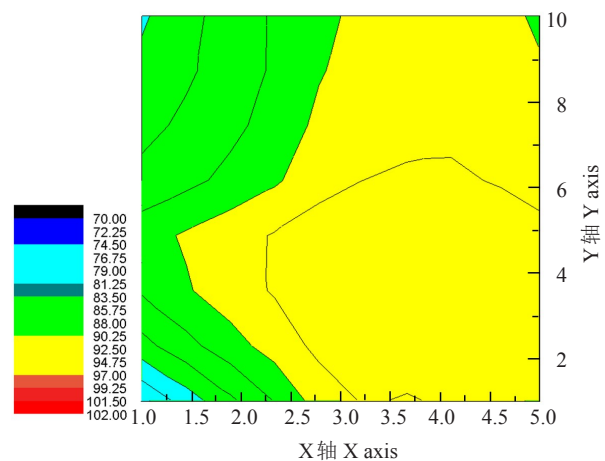


图4 果实膨大期苹果全叶片接触角分布

Fig. 4 Contact angle distribution in the whole apple leaf in the period of fruit expansion

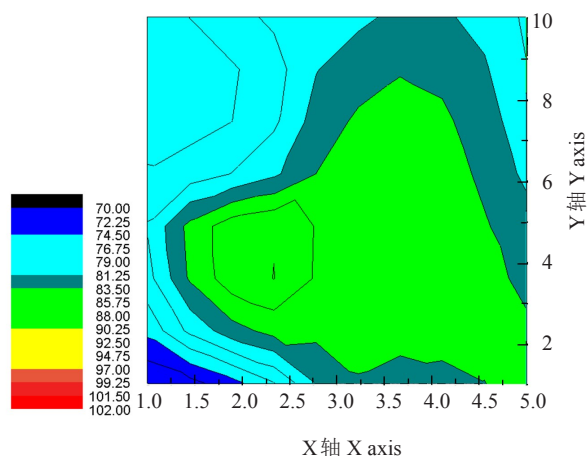


图2 落花期苹果全叶片接触角分布

Fig. 2 Contact angle distribution in the whole apple leaf at the period of flower withering

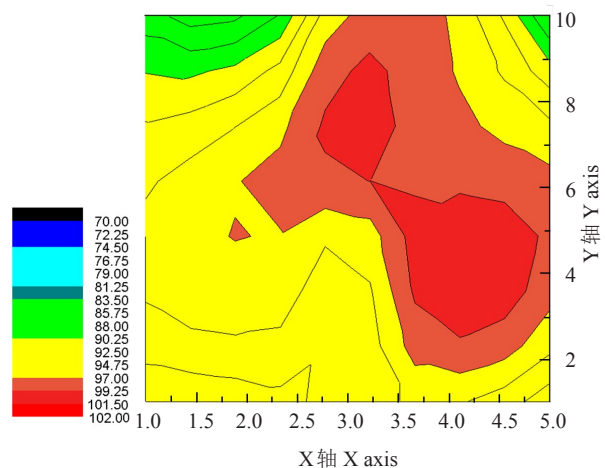


图5 果实膨大后期苹果全叶片接触角分布

Fig. 5 Contact angle distribution in the whole apple leaf in late period of fruit expansion

强度不同有关。此外,通过横纵网格平均法与插值法基本一致的结果,可以得出插值法可以作为横纵网格平均法的补充,是分析苹果叶片接触角时空分布的一种可行方法。

2.4 3种常用农药剂型在苹果叶片的润湿性能

为了考察水与苹果叶片的接触角分布,进而指导苹果树农药剂型选择的有效性,选取3种常用农药制剂(2.5%高效氯氰菊酯乳油、30%戊唑醇悬浮剂和2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂),研究其与果实膨大后期苹果叶片的接触角,结果如表3所示,稀释2000倍后,2.5%高效氯氰菊酯乳油与苹果叶片的接触角最小,平均接触角为 $(67.50\pm 3.86)^\circ$,远小于果实膨大后期苹果叶片与水的接触角。30%戊唑醇悬浮剂和2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂与苹果叶片的接触角接近,无显著性差异,略小于果实膨大后期苹果叶片与水的接触角。这表明果实膨大后期乳油剂型更易润湿苹果叶片。

表3 果实膨大后期苹果叶片与3种常用农药剂型的接触角
Table 3 Contact angle between apple leaf and three formulations of pesticide at the late fruit expansion stage

处理 Treatment	稀释倍数 Dilution times	平均接触角 Average contact angle/ $^\circ$
2.5% 高效氯氰菊酯乳油 2.5% beta-cypermethrin EC	2 000	67.50±3.86 a
30% 戊唑醇悬浮剂 30% tebuconazole SC	2 000	85.43±2.51 b
2.5% 高效氯氟氰菊酯水乳剂 2.5% lambda-cyhalothrin EW	2 000	83.17±3.49 b

3 讨 论

笔者通过对苹果叶片近轴面(正面)接触角分布的研究,发现苹果叶片近轴面(正面)润湿性的时空分布规律,即苹果叶片的接触角随生长发育,润湿性能变差。这与范仁俊等^[1]对桃叶表面润湿性能研究所发现的变化规律基本一致。同时研究表明,不同生长期苹果叶片近轴面(正面)的润湿性呈一定分布规律,如落花期叶片近轴面(正面)的接触角较其他3个生长期小,叶缘的接触角明显小于中心主叶脉部位。已有研究表明,叶表面蜡质层的积累,会使叶片疏水性逐渐增强^[4]。因此可推断落花期叶中部的蜡质层较厚。随着生长期的推移,叶片的润湿性能逐渐降低,叶缘处接触角小于中心主叶脉的分布特点越发明显。需要指出的是,研究中还发现叶缘右侧的接触角明显高于叶缘左侧,其原因可能与叶片

所受光照角度有关,由于在本研究中供试叶片的生长角度基本一致,这导致叶片所受光照角度基本统一,在此光照角度下,叶缘右侧的光照强度高于叶缘左侧,叶片蜡质层在不同光照强度下呈一定规律,光照强的部位蜡质层较厚,较厚的蜡质层会导致较大的接触角^[15],故叶缘右侧的接触角大于叶缘左侧。基于苹果全叶片接触角时空分布特征,可进一步预测,当雨水和药液接触苹果叶片后,液体会集中于接触角较小部位,从而汇集于叶缘处。

根据界面化学的相关理论,接触角小于 90° 为润湿,接触角大于 90° 为不润湿,若接触角远远大于 90° 则表现为斥水特征^[5,16]。在本研究中,落花期和幼果期苹果叶片的接触角在大多数部位均小于 90° ,表明水可以较好地润湿新叶,此时选择表面活性剂、有机溶剂较少的水基化农药剂型即可;相反,果实膨大期和果实膨大后期苹果叶片大多数部位的接触角大于 90° ,这说明果实膨大后期的叶片不易被水润湿,此时需采用农药药液体系内含有有机溶剂、助剂较多的制剂,如乳油等。基于苹果叶片蜡质层与农药剂型中有机溶剂或助剂的疏水性,初步判断农药剂型与苹果叶片的接触角将低于水与苹果叶片的接触角,本研究中3种常用农药剂型在果实膨大后期叶片上的润湿试验也验证了这一结论。因此,本试验研究不同生长期苹果叶片上水的润湿规律对于农药制剂的选择具有指导意义,另一方面,农药生产企业也可根据这一规律有针对性地开发适用于苹果不同生长期的农药制剂,如在苹果树幼叶期可减少制剂体系内有机溶剂、助剂等成分,研发水基化制剂,以减轻农药制剂中过量助剂、有机溶剂等对环境的污染。

目前在植物叶片润湿性能研究中,对多年生乔化果树的研究多集中于叶片整体润湿性的表征,考虑到来自田间乔化果树叶片不可避免的系统误差,研究者常通过增加试验次数,用试验平均值表征全叶以降低误差,但采用平均值来表征叶片润湿性仍存在一定缺陷。在实验室栽培的植物叶片已经可实现叶片不同部位润湿性能的表征,但乔化果树无法实现局部表征,因为乔化果树在实验室内无法模拟大田生长环境,且新移栽的果树叶片表面性状(颜色浅,叶片薄)与自然状态下有明显差别。因此当前对田间果树叶片不同部位润湿性能的研究还未见报道。笔者通过对样品采集过程的控制以及分析方法

的选择,尝试研究田间苹果叶片不同部位的润湿性能,旨在获取苹果叶片润湿性时空变化特征的同时,为研究大型乔化果树叶片润湿性提供思路和方法。在本研究中,笔者对苹果叶片近轴面(正面)不同部位接触角的测量没有像德国学者 Puente^[12]研究大豆叶片时进行人为特征区域的选择,而是对叶面进行了网格化划分,测量网格内的接触角。这种网格化方法可降低人为因素对试验结果的干扰。而且笔者在利用纵横网格法分析叶片润湿性的基础上,进一步利用插值法得到整个叶片接触角分布的等高线图,从而准确直观地展示了叶片表面润湿性能的时空分布。此外,与很多学者采用表面自由能来表征润湿性能^[1,17-18]不同,笔者采用去离子水与叶片的接触角来表征润湿性能,虽然表面自由能较接触角更能描述靶标的润湿性,但测量表面自由能需选取3种以上的不同极性制剂,且对被测样品要求严格,自然因素影响较大的乔化果树很难满足表面自由能的测量要求。需要指出的是,笔者只对苹果叶片近轴面(正面)进行研究,这主要是基于苹果叶片远轴面(背面)覆盖有浓密的茸毛,对润湿性影响较复杂^[5,19-20]方面的考虑。后续有必要对苹果叶片远轴面(背面)的接触角分布做进一步的研究探讨。另外,对于叶缘左右两侧接触角不一致的原因,笔者初步分析与其光照角度有关,后续试验有必要进一步分析研究加以证明。笔者选择3种常用农药剂型,通过研究其与果实膨大后期苹果叶片的润湿性能,验证水与苹果叶片的接触角分布指导苹果树农药剂型选择的有效性,后续还需增加其他剂型,考察其与不同时期苹果叶片的润湿性。

4 结 论

通过对苹果叶片近轴面(正面)润湿性的时空分布研究发现,苹果叶片近轴面(正面)的润湿性能随生长发育逐渐变差,叶片接触角从落花期的(81.25±3.77)°增加到果实膨大后期的(94.63±3.74)°。4个时期苹果叶片的接触角分布基本一致,即叶缘处接触角小于中心主叶脉部位。由接触角分布等高线图可知,苹果全叶的接触角为非左右轴对称分布,最大接触角集中于叶基上方区域。此外,落花期和幼果期苹果叶片大多数部位的接触角均小于90°,表明水可以较好地润湿新叶,此时选择表面活性剂、有机溶剂较少的水基化农药剂型即可;果实膨大期和果实

膨大后期苹果叶片大多数部位的接触角则大于90°,这说明果实膨大期和果实膨大后期的叶片不易被水润湿,需采用农药药液体系内含有有机溶剂、助剂较多的制剂,如乳油等。

参考文献 References:

- [1] 范仁俊,张晓曦,周璐,曹冲,杜凤沛. 利用 OWRK 法预测桃叶表面润湿性能的研究[J]. 农药学报,2011,13(1): 79-83.
FAN Renjun, ZHANG Xiaoxi, ZHOU Lu, CAO Chong, DU Fengpei. Research on the wettability of peach leaf surfaces by OWRK method[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2011, 13(1): 79-83.
- [2] 顾家冰,丁为民,邱威,孙诚达. 果园变量施药机械及施药技术研究现状与趋势[J]. 果树学报,2014,31(6): 1154-1157.
GU Jiabing, DING Weimin, QIU Wei, SUN Chengda. Current research situation and development trend of equipment and technology for orchard spraying[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(6): 1154-1157.
- [3] 王波,宋坚利,曾爱军,刘亚佳,张京,何雄奎. 水稻叶片上露水对农药沉积量的影响[J]. 中国农业大学学报,2012,17(3): 94-100.
WANG Bo, SONG Jianli, ZENG Aijun, LIU Yajia, ZHANG Jing, HE Xiongkui. Influence of dew on pesticide droplet deposition on rice leaves[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17(3): 94-100.
- [4] 杨希娃,代美灵,宋坚利,赵今凯,何雄奎. 雾滴大小、叶片表面特性与倾角对农药沉积量的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(3): 70-73.
YANG Xiwa, DAI Meiling, SONG Jianli, ZHAO Jinkai, HE Xiongkui. Effect of droplet size, leaf characteristics and angle on pesticide deposition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(3): 70-73.
- [5] 石辉,王会霞,李秧秧. 植物叶表面的润湿性及其生态学意义[J]. 生态学报,2011,31(15): 4287-4297.
SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang. Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4287-4297.
- [6] 郭瑞峰,高越,张鹏九,刘中芳,封云涛,张润祥,庾琴,范仁俊. 2.5%高效氟氯菊酯水乳剂在苹果叶片表面的润湿性能[J]. 农药学报,2015,17(2): 215-219.
GUO Ruifeng, GAO Yue, ZHANG Pengjiu, LIU Zhongfang, FENG Yuntao, ZHANG Runxiang, YU Qin, FAN Renjun. Wettability of 2.5% beta-cyfluthrin emulsion in water on surface of apple leaves[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2015, 17(2): 215-219.
- [7] 王振,李光玉,高越,范仁俊,张润祥. 啮霉胺悬浮剂的润湿性能及其靶标表面性质研究[J]. 农药学报,2012,14(5): 551-556.
WANG Zhen, LI Guangyu, GAO Yue, FAN Renjun, ZHANG

- Runxiang. Study of wettability and target surface properties of pyrimethanil SC[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2012, 14(5): 551-556.
- [8] 刘红亮,徐德. 不同防治方式下靶标农药沉积量比较[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(33): 16140-16142.
- LIU Hongliang, XU De. Comparative study on deposition amount of target pesticide under different control methods[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(33): 16140-16142.
- [9] HALL D M, BURKE W. Wettability of leaves a selection of New Zealand plants[J]. New Zealand Journal of Botany, 1974, 12(3): 283-298.
- [10] 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]. 农药学学报, 2002, 4(2): 75-80.
- GU Zhongyan, XU Xiaolong, HAN Lijuan. The cause of the difficulty in wet-spreading of some insecticides on rice, wheat and wild cabbage leaves[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2002, 4(2): 75-80.
- [11] PIERCE S, MAXWELL K, GRIFFITHS H, WINTER K. Hydrophobic layers and epicuticular wax powders in Bromelaceae[J]. American Journal of Botany, 2001, 88(8): 1371-1389.
- [12] PUENTE D W, BAUR P. Wettability of soybean (*Glycine max* L.) leaves by foliar sprays with respect to developmental changes[J]. Pest Management Science, 2011, 67(7): 798-806.
- [13] 逢森,袁会珠,李永平,李鹏,黄雄英,张红星. 表面活性剂 Silwet408 提高药液在蔬菜叶片上润湿性能的研究[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(7): 22-25.
- PANG Sen, YUAN Huizhu, LI Yongping, LI Peng, HUANG Xiongying, ZHANG Hongxing. Study on the wetting property of surfactant Silwet 408 on vegetable leaf surface[J]. Pesticide Science and Administration, 2005, 26(7): 22-25.
- [14] HUNSCHKE M, BRINGE K, SCHMITZ-EIBERGER M, NOGA G. Leaf surface characteristics of apple seedlings, bean seedlings and kohlrabi plants and their impact on the retention and rain fastness of mancozeb[J]. Pest Management Science, 2006, 62(9): 839-847.
- [15] 李婧婧,黄俊华,谢树成. 植物蜡质及其与环境的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 565-574.
- LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng. Plant wax and its response to environmental conditions an over view[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(2): 565-574.
- [16] 石辉,李俊义. 植物叶片润湿性特征的初步研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3): 202-205.
- SHI Hui, LI Junyi. Primary research on the wettability of leaves of selected plants in Shaanxi province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(3): 202-205.
- [17] 王慧霞,石辉,玉亚,石彦. 植物叶面自由能特征和水滴形态对截留降水的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 249-252.
- WANG Huixia, SHI Hui, YU Ya, SHI Yan. Effects of leaf surface energy characteristics and drop shape on rainfall interception[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(3): 249-252.
- [18] ZHU Y Q, YU C X, LI Yu, ZHU Q Q, ZHOU L, CAO C, YU T T, DU F P. Research on the changes in wettability of rice (*Oryza sativa*) leaf surfaces at different development stages using the OWRK method[J]. Pest Management Science, 2014, 70(3): 462-469.
- [19] 韩志武,邱兆美,王淑杰,任露泉. 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, REN Luquan. 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.
- [20] 王会霞. 基于润湿性的植物叶面截留降水和降尘的机制研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2012.
- WANG Huixia. Mechanisms of plant leaves based on leaf surface wettability on rainfall interception and dust-capturing[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012.