

# 毛乌素沙地沙芥和斧形沙芥根系分布特征

黄修梅, 郝丽珍, 王怀栋, 庞杰

(内蒙古农业大学, 内蒙古自治区野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:**以毛乌素沙地沙芥和斧形沙芥为试材, 采用全挖法, 研究了其根系周围土壤含水量变化、根系分布及水平根系空间分布特征。结果表明: 在自然生境中, 沙芥和斧形沙芥 1 a 生植株根系周围的平均土壤含水量分别为  $(2.68 \pm 0.11)\%$ 、 $(2.50 \pm 0.45)\%$ ; 2 a 生的分别为  $(3.13 \pm 0.46)\%$ 、 $(1.90 \pm 0.68)\%$ 。沙芥和斧形沙芥主根垂直, 水平根系数目较少、但长度极其发达。沙芥和斧形沙芥 2 a 生主根长均约为 120 cm, 最长水平根分别为 380、400 cm, 水平根累计总长分别为 1 590、3 340 cm。沙芥和斧形沙芥 2 a 生水平根系均在深度 40~60 cm、距主根 0~40 cm 的空间范围内分布最多, 均在 40~60 cm 的土层深度分布最大, 因此, 沙芥和斧形沙芥主要依靠延长水平根系寻找远距离水源来适应低土壤含水量环境, 斧形沙芥比沙芥更能适应低土壤含水量。

**关键词:**毛乌素沙地; 十字花科; 沙芥属; 沙芥; 斧形沙芥; 根系

**中图分类号:**S 647 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)08-0020-05

植物根系不仅起着固定和支撑作用, 它也是直接从土壤中吸收水分和养分的营养器官, 直接参与土壤中各物质及能量的交换, 严重影响着与地上部分的生长, 是植物体的重要功能器官<sup>[1]</sup>。根系生物量、表面积或长度随土层深度的变化、根幅、邻体间的位置等根系分布不仅会反映出植物自身遗传特点, 同时也反映出植物生长环境特点<sup>[2-3]</sup>。沙生植物长期处于特殊生境中, 根系首当其冲遭受着干旱、高温及沙面流动的严酷逆境胁迫, 通常沙生植物根系具有特殊分布, 多具有强大的侧根和较深的垂直根系<sup>[4-8]</sup>, 因此对沙生植物的根系特征研究可以更好地探讨植物对逆境的适应性, 发挥其防风固沙、生态治理的生态效益和经济效益。

沙芥(*Pugionium cornutum* (L.) Gaertn) 和斧形沙芥(*Pugionium dolabratum* Maxim) 是 2 a 生蔬菜植物, 属于十字花科(Cruciferae)沙芥属(*Pugionium* Gaertn), 具有固沙、防风、保健、药用等多种功能。沙芥属是亚洲中部蒙古高原沙地的特有属, 其中沙芥是中国特有种, 只分布于我国的毛乌素、宁夏沙地、科尔沁、浑善达克、库布

齐(东部)<sup>[9]</sup>; 斧形沙芥于 1992 年被列为濒危种<sup>[10]</sup>。目前, 把植物的结构与适应性结合在一起的研究是根系生态学的一个重要研究内容, 在国内外都较少见<sup>[11]</sup>, 对于沙生植物沙芥和斧形沙芥根系的研究更未见报道。现以沙芥和斧形沙芥为试验材料, 在毛乌素沙地沙芥与斧形沙芥自然生境区, 研究其根系生物量、空间分布及根系周围土壤含水量的变化规律, 以期掌握沙芥属植物根系分布和对自然生境的适应特征, 为防风固沙和生态恢复提供理论依据, 为沙区百姓带来经济效益, 为保护和扩大野生资源提供理论基础和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于毛乌素沙地沙芥和斧形沙芥自然生境区, 地理位置为北纬  $39^{\circ}17'26''$ , 东经  $110^{\circ}00'19''$ , 海拔约 1 087 m。该区属于干旱气候中的草原气候, 年均降水量 362.3 mm, 主要集中于 6~8 月, 占全年降水量的 60%~70%, 年蒸发量约为 1 935.4 mm, 年均气温  $3 \sim 7^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  年积温为 3 421.3 $^{\circ}\text{C}$ 。地貌以平缓起伏沙丘为主, 相间分布沙质草甸(甸子地)或农田, 土壤上层为风沙土, 下层为沙质栗钙土。

### 1.2 试验方法

2010 年 9 月, 当 1 a 生植株处于旺盛生长末期、2 a 生植株处于果实成熟期、根系已经充分展开时进行取样。在毛乌素沙地沙芥和斧形沙芥自然种群, 选取 1 a 生和 2 a 生典型植株, 采用全挖法<sup>[11]</sup>, 1、2 a 生植株各选 5 株, 获取完整根系, 在挖取根样的过程中, 在垂直和水平方向上每 20 cm 为 1 层, 分别采集根系, 测量根系分布

**第一作者简介:**黄修梅(1971-), 女, 博士, 讲师, 现主要从事沙生植物种质资源研究工作。E-mail: Huangxm0404@126.com。

**责任作者:**郝丽珍(1960-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为沙生蔬菜种质资源与种质创新。E-mail: haolizhen\_1960@163.com。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30860174、30460080、30260067); 内蒙古科技攻关资助项目(20050305、20060202); 内蒙古自然科学基金资助项目(2001108020501、200308020513); 内蒙古人才基金资助项目。

**收稿日期:**2012-01-29

的深度与长度,放入自封袋,带回实验室,冲洗干净,在105℃的烘箱中烘至恒重,测得根生物量、比根长,其中比根长为根长与生物量的比值<sup>[12]</sup>。同时,从地表向下沿着主根延伸方向,每隔20 cm用环刀取土样,带回实验室测得土壤含水量。采用MATLAB软件处理根系空间分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙芥和斧形沙芥根系周围土壤含水量

由表1可知,沙芥和斧形沙芥物种间、苗龄间在不同的土层深度土壤含水量不同。在0~20 cm浅层土壤中,不同物种不同苗龄根系周围土壤含水量差异不大,这可能是受到地表温度、降雨以及沙丘移动等因素的影响。沙芥和斧形沙芥1 a生根系分布在土层深度40 cm的范围内,土壤的平均含水量分别为 $(2.68 \pm 0.11)\%$ 和 $(2.50 \pm 0.45)\%$ 。沙芥和斧形沙芥2 a生根系分布在土层深度120 cm的范围内,沙芥和斧形沙芥平均含水量分别为 $(3.13 \pm 0.46)\%$ 和 $(1.90 \pm 0.68)\%$ ,其中沙芥根系周围的土壤含水量随着土层深度的增加而增加,在80 cm土层深度达到最大,为3.73%,之后下降;斧形沙芥根系周围土壤含水量随着土层深度的增加呈现出先高后低的单峰曲线,最大值为20 cm土层深度,为2.75%。因此,沙芥和斧形沙芥根系周围土壤含水量极低,表明其根系对低土壤含水量有着极强的适应性,2 a生斧形沙芥根系周围平均土壤含水量为1.90%,明显低于沙芥根系周围平均含水量3.13%,说明斧形沙芥根系生长比沙芥更能适应低的土壤含水量。

表1 毛乌素沙地自然种群沙芥和斧形沙芥根系周围土壤含水量变化规律

Table 1 Soil water content of *P. cornutum* and *P. dolabrotum* of the natural populations in Mu Us Sandy Land

垂直深度 Vertical depth /cm	2 a 生土壤含水量		1 a 生土壤含水量	
	Soil water content of 2 years/%		Soil water content of 1 year/%	
	沙芥 <i>P. cornutum</i>	斧形沙芥 <i>P. dolabrotum</i>	沙芥 <i>P. cornutum</i>	斧形沙芥 <i>P. dolabrotum</i>
20	2.93	3.03	2.75	2.82
40	3.52	2.45	2.60	2.19
60	3.33	1.48	—	—
80	3.73	1.49	—	—
100	2.57	1.39	—	—
120	2.73	1.56	—	—
Mean±S. D.	3.13±0.46	1.90±0.68	2.68±0.11	2.50±0.45

### 2.2 沙芥和斧形沙芥1 a生根系分布特征

所取样本沙芥和斧形沙芥1 a生根系生物量分别为11.95、11.09 g/株,都属于主根垂直,侧根水平延伸、长度极长、但数目较少。沙芥1 a生主根长约35 cm、水平根最长约280 cm、累计根长为920 cm。斧形沙芥1 a生主根长约为40 cm、水平最长约280 cm、累计根长为

1 400 cm。水平根系空间分布见图1、2。沙芥和斧形沙芥水平根重量均在20~40 cm的土层深度中分布的最多,在0~20 cm土层中,分布的半径分别为240和200 cm。沙芥和斧形沙芥水平根量在土层深度20~40 cm、半径为0~40 cm的范围内达到最大,为总水平根量的34.31%和28.41%。

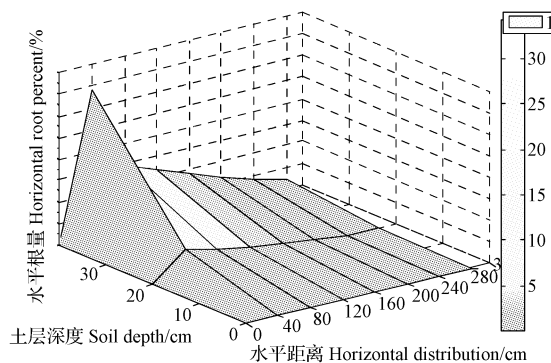


图1 沙芥1 a生水平根系空间分布

Fig. 1 The horizontal roots spatial distribution of *P. cornutum* of 1 year

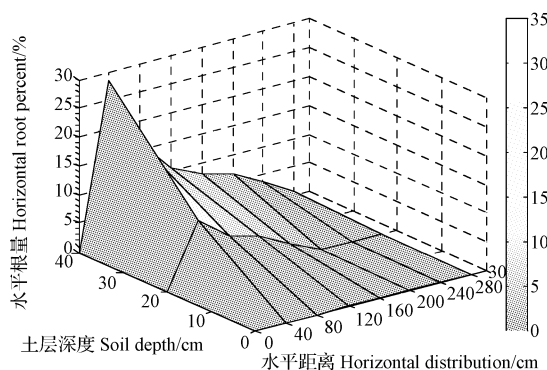


图2 斧形沙芥1 a生水平根系空间分布

Fig. 2 The horizontal roots spatial distribution of *P. dolabrotum* of 1 year

### 2.3 沙芥和斧形沙芥水平2 a生根系分布特征

沙芥2 a生根系生物量为51.15 g/株,主根长120 cm;水平根最长可达380 cm,累计根长可达1 590 cm,一般6~8条、向沙丘内部或两侧水平延伸。水平根系空间分布见图3。水平根量的分布均随着土层厚度的增加呈现两头小、中间大的正态分布。沙芥2 a生水平根系主要分布在0~80 cm的土层深度中,其中在40~60 cm的土层深度中达到最大、占总水平根量的73.9%,水平根量在深度40~60 cm、距主根0~40 cm的半径范围内分布最大;其次为深度40~60 cm、距主根40~80 cm的半径范围内。

斧形沙芥2 a生根系生物量为45.94 g/株,主根长约为120 cm;水平根最长可达400 cm,累计根长可达3 340 cm,一般6~8条水平根围绕主根向四周水平延伸。斧形沙芥2 a生水平根系空间分布见图4。斧形沙

芥 2 a 生水平根系主要分布在 0~100 cm 的土层深度中,根量最大在土层深度 40~60 cm、占总水平根量的 64.6%。水平根系可分布在 0~400 cm 的半径内,但根量最多是在 0~40 cm 半径范围内,并随着长度增加根量呈下降趋势。水平根量分布最大的区域为:深度 40~60 cm、距主根 0~40 cm 的半径范围内;其次为深度为 40~60 cm、距主根 40~80 cm 的半径范围内。

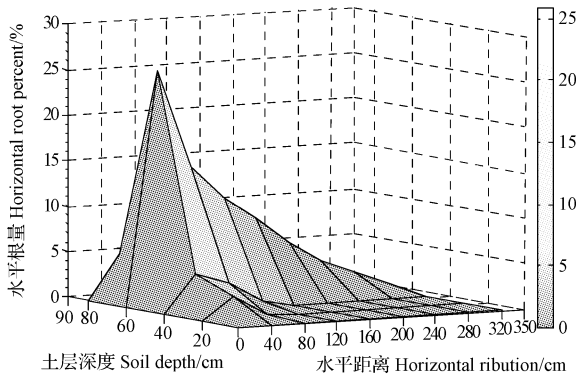


图 3 沙芥 2 a 生水平根系空间分布

Fig. 3 The horizontal roots spatial distribution of biennial *P. cornutum* of 2 years

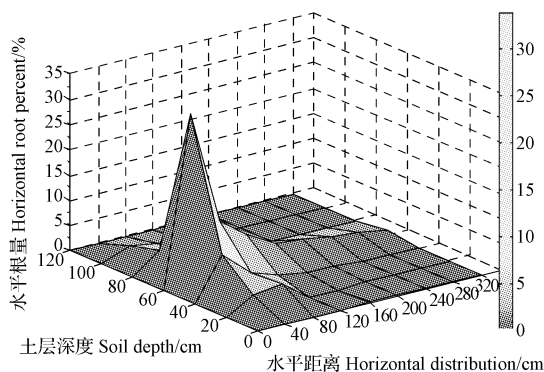


图 4 斧形沙芥 2 a 生水平根系空间分布

Fig. 4 The horizontal roots spatial distribution of biennial *P. dolabrotum* of 2 years

#### 2.4 沙芥和斧形沙芥 2 a 生根长和比根长分布特征

由图 5 可知,沙芥和斧形沙芥 2 a 生根系最大根长分布于 40~60 cm 的土层深度,累计根长分别为 910 和 1 670 cm,分别占总水平根长的 57.2%和 50.0%。

沙芥和斧形沙芥 2 a 生根系比根长差异不大,分别为 13.93 和 13.61 mm/mg(图 6),只是在不同土层中分配不同比例,沙芥主要集中在 0~60 cm 土层深度中、斧形沙芥主要集中在 40~100 cm 的土层深度中。

### 3 讨论

#### 3.1 沙芥和斧形沙芥根系生长对土壤含水量的适应性

据报道,土壤水分的空间分布会随着坡面和坡位的不同而不同,在固定和半固定沙丘大部分迎风面的含水量比背风面的含水量低<sup>[7]</sup>。沙丘丘间的土壤含水量会

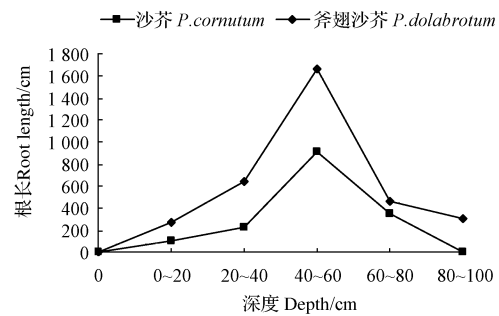


图 5 沙芥和斧形沙芥 2 a 生根长的分布特征

Fig. 5 The distribution of root length of *P. cornutum* and *P. dolabrotum* of 2 years

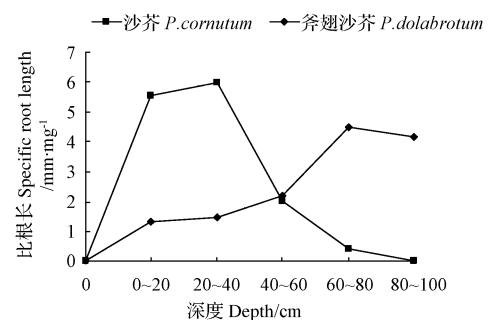


图 6 沙芥和斧形沙芥 2 a 生比根长的分布特征

Fig. 6 The distribution of specific root length of *P. cornutum* and *P. dolabrotum* of 2 years

明显高于顶部土壤含水量<sup>[13]</sup>。该试验得出沙芥和斧形沙芥 2 a 生根系周围平均含水量分别为 3.13%和 1.90%,沙芥明显高于斧形沙芥(图 7~9),自然生境的沙芥一般生长于固定和半固定沙丘的背风坡上(图 7~8),斧形沙芥一般生长于顶部较平缓地带(图 9),正和以上规律相符,这说明沙芥和斧形沙芥在沙丘中的生长位置可能是其抗旱性不同导致的结果,也说明从根系发育,斧形沙芥比沙芥具有更强的抗旱性,这与杨冬艳等<sup>[14]</sup>通过研究干旱胁迫下沙芥和斧形沙芥幼苗的生理生化应答机制,得出斧形沙芥抗旱性强于沙芥基本一致。在毛乌素沙地,沙柳样地在表层 0~20 cm 土层,土壤含水率较小,约 5%左右;而在 40~60 cm 土层,土壤含水率较大,在 15%~20%<sup>[6]</sup>。在极端干旱环境下,胡杨生长的 20~120 cm 土层中,土壤含水量在 5%~25%<sup>[8]</sup>。塔克拉玛干沙漠中的驼绒刺根系周围的土壤含水率在 4.0%~6.0%<sup>[15]</sup>。沙芥和斧形沙芥根系周围的平均含水量分别为 3.13%和 1.90%,与以上沙生植物相比,沙芥和斧形沙芥生存的环境土壤含水量更低,说明其耐旱性更强,事实上课题组也发现,沙芥和斧形沙芥生存的生境周围很少有其它沙生植物,因此在生态治理中,可以在极端干旱环境中选择沙芥和斧形沙芥播种。





图7 生长于自然生境的1 a 生沙芥

Fig. 7 *P. cornutum* in the natural population of 1 year

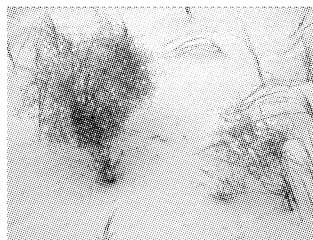


图8 生长于自然生境的2 a 生沙芥

Fig. 8 *P. cornutum* in the natural population of 2 years

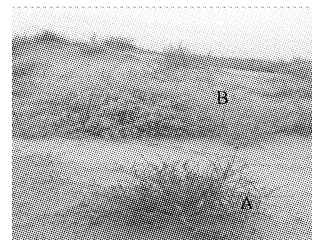


图9 生长于自然生境的1(A)、2(B) a 生斧形沙芥

Fig. 9 *P. dolabrotum* in the natural population of 1(A) and 2(B) years

### 3.2 沙芥和斧形沙芥根系生长对生态环境的适应性

植物根系吸收水分和养分的能力更多地取决于根长而不是生物量。毛乌素沙地的臭柏(*Sabina vulgaris*)水平延伸幅度达灌丛边缘以外 1.0 m<sup>[4]</sup>。毛乌素沙地的沙柳比柠条水平根更发达,3 a 生沙柳根系水平分布在距树基 160 cm 范围的土层中<sup>[5]</sup>。与同为毛乌素沙地的臭柏、沙柳与柠条相比,沙芥和斧形沙芥的水平根更为发达,2 a 生水平根最长均可达 380 cm 以上,水平根总长分别为 1 590 和 3 340 cm,说明沙芥和斧形沙芥根系发育对干旱有着极强的适应性,其延长水平根系来寻找远距离水分和养分可能是其适应干旱的机理之一,也是其长期自然选择过程中所形成的特点之一。斧形沙芥水平根累计总长是沙芥的 2 倍,而根系生物量却相差不大,因此斧形沙芥的水平根系又细又长,这可能是斧形沙芥能够适应更低土壤含水量的机理之一。比根长代表着根系性状,表示根系吸收水分和养分的能力,植物的比根长越大在根系生物量投入方面具有更高的效率<sup>[16]</sup>。该试验说明,0~60 cm 土层深度环境对沙芥植株生长的贡献率较大,而 40~100 cm 土层深度环境对斧形沙芥植株生长的贡献率较大,也说明不同土层深度的土壤环境影响着植物根系的生长。

因此生态治理中,应注意沙芥和斧形沙芥根系发育对土壤含水量的适应性,一般沙芥可播种在沙丘起伏不平的地带,斧形沙芥可播种在较平缓的沙丘地带,扬长避短,使其更好地生长,最大限度地发挥防风固沙效益。

#### 参考文献

[1] 王政权,郭大立. 根系生态学[J]. 植物生态学报,2008,32(6):1213-1216.

[2] 王进鑫,王迪海,刘广全. 刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究[J]. 西北植物学报,2004,24(12):2208-2214.

[3] 云雷,毕华兴,马雯静,等. 晋西黄土区林草复合系统刺槐根系分布特征[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(2):151-155.

[4] 张国盛,王林和,李玉灵,等. 毛乌素沙地臭柏根系分布及根量[J]. 中国沙漠,1999,19(4):378-383.

[5] 张莉,吴斌,丁国栋,等. 毛乌素沙地沙柳与柠条根系分布特征对比[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):158-161.

[6] 杨峰,王文科,刘立,等. 毛乌素沙地沙柳根系与土壤水分特征的研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(26):16050-16052.

[7] 康博文,刘建军,孙建华,等. 陕北毛乌素沙漠黑沙蒿根系分布特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(4):119-123.

[8] 木巴热克,阿尤普,陈亚宁,等. 极端干旱环境下的胡杨细根分布与土壤特征[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1449-1458.

[9] 赵一之. 沙芥属的分类校正及其区系分析[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),1999,30(2):197-199.

[10] 赵一之. 内蒙古珍稀濒危植物图谱[M]. 北京:中国农业出版社,1992:30.

[11] 张宇清,朱清科,齐实,等. 梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征[J]. 北京林业大学学报,2006,28(2):34-38.

[12] Fitter A. Characteristics and functions of root systems. In: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. (Eds.) Plant roots: the hidden half [M]. New York: Marcel Dekker, 1996:1-20.

[13] 吕贻忠,胡克林,李保国. 毛乌素沙地不同沙丘土壤水分的时空变异[J]. 土壤学报,2006,43(1):152-154.

[14] 杨冬艳,郝丽珍,王萍,等. 干旱胁迫对沙芥与斧形沙芥膜脂过氧化及膜脂组分的影响[J]. 庆祝中国园艺学会创建 80 周年暨第 11 次全国委员代表大会论文摘要集,2009.

[15] 张晓蕾,曾凡江,刘波,等. 塔干沙漠南缘骆驼刺幼苗根系生长和分布对不同灌溉量的响应[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1459-1466.

[16] Eissenstat D M. Costs and benefits of construction roots of small diameter[J]. Journal of Plant Nutrition, 1992, 15: 763-782.

## Root Distribution Characteristic of *P. cornutum*(L.) Gaertn and *P. dolabratum* Maxim in Mu Us Sandy Land

HUANG Xiu-mei, HAO Li-zhen, WANG Huai-dong, PANG Jie

(Inner Mongolia Agricultural University, Key Laboratory of Wild Peculiar Vegetable Recourse and Germplasm Enhancement, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

# 新型农用有机硅喷雾助剂在苹果上的安全性研究

刘保友, 栾炳辉, 王英姿, 张伟, 王培松

(烟台市农业科学研究院, 山东 烟台 265500)

**摘要:**对美国迈图高新材料集团开发的 Silwet 系列有机硅农用喷雾助剂杰效利、喜施和丝润在不同品种苹果上套袋前单独使用、与不同杀虫剂混用及套袋后单独使用的安全性进行了评价。结果表明:杰效利、喜施和丝润套袋前单独使用对不同品种苹果幼果安全性表现一致,不同参试浓度对“嘎啦”、“乔纳金”幼果均未产生药害,但在苹果“红富士”品种上,500~2 000 倍产生药害,且药害程度随用量提高而增加;与 48%毒死蜱 EC 混用及单独喷施毒死蜱,在幼果表面果点处均产生不同程度的药害;套袋后使用有机硅助剂对果实和果袋均无不良影响。

**关键词:**有机硅助剂;杰效利;喜施;丝润;苹果;安全性

**中图分类号:**S 482.92 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)08-0024-03

苹果有害生物防治过程中,因果树枝叶茂密、树冠较高,要将整体树冠每个部位喷透、喷均匀,果农通常采用常规大容量喷雾方式<sup>[1]</sup>,施药量达 300~500 L/667m<sup>2</sup>,随之造成大量农药流失和漂移,导致农药利用效率低,且严重污染环境。随着现代科技的快速进步,高活性农药不断出现并被应用到实际防治中,但使用效率却很低,仅有 20%~30%的农药沉积在植物体上。当前随着人们对农产品质量安全的日趋重视,如何提高农药利用

率成为农药使用技术的突出问题。其中,向药液中加入有机硅等表面活性剂是提高农药利用率的有效途径之一。20 世纪 60 年代有机硅表面活性剂开始作为农药助剂使用,但直至 20 世纪 80 年代才开始在农业上商业性推广应用。具有优良表面活性的 Silwet 系列有机硅助剂可将药液表面张力降低到 20 mN/m 左右,优于国内其它常用农药表面活性剂。Silwet 系列助剂可有效降低施药液量,获得理想的覆盖度,具有提升农药使用效率、增加防效、节约成本、耐雨冲刷、低毒等优势<sup>[2-5]</sup>,符合农业可持续发展要求。目前已有针对 Silwet 系列助剂应用性研究的报道,在大田作物、果树、蔬菜上均表现出色<sup>[6-11]</sup>,但有关 Silwet 系列助剂的安全性研究较少。现针对美国迈图高新材料集团开发的 Silwet 系列有机硅农用喷雾助剂杰效利、喜施和丝润,评价其在不同品种苹果上套袋前单独使用、与不同杀虫剂混用及套袋后单独使用的安全性,以求为有机硅助剂田间安全使用提供理论依据。

**第一作者简介:**刘保友(1981-),男,山东成武人,硕士,农艺师,现主要从事植物保护等研究工作。

**责任作者:**王英姿(1962-),女,山东文登人,本科,研究员,现主要从事植物保护等研究工作。

**基金项目:**国家公益性行业科研专项资助项目(3-22,200903033);山东省科技攻关计划资助项目(2011GNC11002);烟台市科技攻关计划资助项目(2007321,2009134)。

**收稿日期:**2012-01-29

**Abstract:** The distribution characteristics and the horizontal roots spatial distribution and the soil moisture around the root system of *P. cornutum* and *P. dolabratum* in Mu Us Sandy Land were studied, by using the methods of digging out whole roots. The results showed that round the biennial roots system of *P. cornutum* and *P. dolabratum*, the soil moisture were  $(3.13 \pm 0.46)\%$  and  $(1.90 \pm 0.68)\%$  respectively; around the annual roots system, the soil moisture were  $(2.68 \pm 0.11)\%$  and  $(2.50 \pm 0.45)\%$  respectively. The primary roots of *P. cornutum* and *P. dolabratum* were all nearly vertical, the horizontal roots system were extremely developed, but number less. The tap-root length of *P. cornutum* and *P. dolabratum* of biennial all were 120 cm; the longest horizontal roots were 380 cm and 400 cm respectively; the length of total horizontal roots were 1 590 cm and 3 340 cm respectively; the maximal spacial distribution all were from 20 to 40 cm in the soil depth, from 0 to 40 cm in the radius range. The roots' adaptive mechanism of *P. cornutum* and *P. dolabratum* had strong tap-roots to absorb more water, *P. dolabratum* had stronger adaptive than *P. cornutum* to low soil moisture content.

**Key words:** Mu Us Sandy Land; Cruciferae; *Pugionium gaertn*; *P. cornutum*; *P. dolabratum*; roots