

# 农药在线混合均匀度高速摄影分析\*

徐幼林<sup>1</sup> 郭敬坤<sup>2</sup> 郑加强<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037; 2. 无锡市东方环境工程设计研究所, 无锡 214125)

**【摘要】** 利用高速摄影技术对农药混药装置在线混合均匀度进行了试验分析。选用聚苯乙烯颗粒作为示踪粒子跟随混合液流动, 根据获得的粒子图像提取了粒子的质心坐标, 对不同工况下混药装置的混合均匀度进行了分析计算, 并得到泵工作条件对混合效果的影响以及粒子分布与混合效果的关系。研究表明, 示踪粒子质心纵坐标分布与正态分布越接近, 混合效果越好; 当泵转速较低时, 随着泵工作压力增大, 混合均匀度增大; 当泵的工作压力不变时, 随着泵工作转速提高, 混合均匀度提高。

**关键词:** 植保机械 混药器 在线混合 混合均匀度 高速摄影

**中图分类号:** TP391.41; S482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)08-0075-05

## Mixing Uniformity of Chemical and Water in Direct Injection System

Xu Youlin<sup>1</sup> Guo Jingkun<sup>2</sup> Zheng Jiaqiang<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

2. Wuxi Dongfang Environment Engineering Research & Design Institute, Wuxi 214125, China)

### Abstract

The high-speed imaging technology was applied to study the mixing uniformity of the mixer. The polystyrene was chosen as the tracing particle to follow the flow of the liquid pesticide. The mixing images were acquired with the changed work conditions of the pump. Then, the centroid coordinates of particles were obtained. At last, the results of the mixing performance were analyzed. It was found that the different work conditions of the pump and the distribution of the particles had different effects on the mixing performance. The results showed that when the particle centroid distribution of the tracing particle was closer to the normal distribution, the mixing performance was better. When the pump worked in a low speed, the mixing uniformity was getting better with the increasing of pump pressure. When the working pressure of the pump was constant, the mixing uniformity increased gradually as the speed of the pump increased.

**Key words** Crop protection machinery, Chemical mixer, Direct injection system, Mixing uniformity, High-speed camera

### 引言

喷雾机农药药水在线混合能达到药、水分离, 避免操作人员与农药直接接触, 能安全、可靠、高效地使用农药和消除残留农药对环境的污染。在线混合过程是在流体的流动过程中完成, 混合的均匀程度是影响喷药效果的一个重要因素, 因此引起了国内

外众多学者的广泛关注。许多研究者对喷雾机混药装置进行了研究, 并对混合效果进行了分析计算, 但由于其混合过程在数值模拟时需对复杂的边界条件作一些简化和假设, 因此计算结果与实际存在一定的误差, 其可信度有待论证<sup>[1-3]</sup>。本文采用高速摄影和数字图像处理技术, 对农药和水在混合过程中的混合效果进行研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

农药在线混合方式,即在喷雾机上分别设置药箱和水箱,利用喷雾机管道系统的水流完成农药与水在混药装置中的在线混合。试验系统主要包括供水系统、供药系统、混药装置及图像采集系统,如图1所示。图像采集系统主要由高速摄像机、辅助光源、计算机以及透光性好的有机玻璃管(即农药混合液出水管)组成。

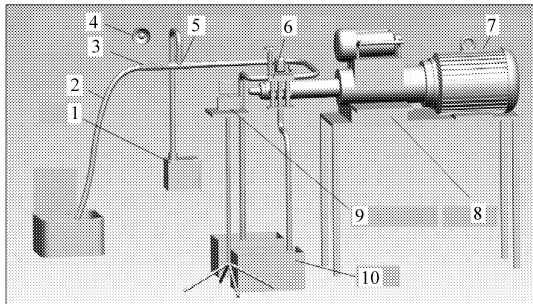


图1 混药均匀度试验系统原理图

Fig.1 Experimental system diagram of mixing uniformity

1.药箱 2.出水软管 3.有机玻璃管 4.辅助光源 5.混药器  
6.泵 7.电动机 8.试验台架 9.高速摄像机 10.水箱

### 1.2 药水混合均匀度的图像可视化实现方法

为了对喷雾机农药与水在线混合后流体的图像进行采集,本文在农药中加入了示踪粒子,即球形的淡黄色聚苯乙烯颗粒,直径  $65 \sim 300 \mu\text{m}$ ,密度  $1.02 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$ 。这种小球在水中悬浮性好,具有良好的光散射性,能准确地跟随流体运动<sup>[4]</sup>。

通过摄像机对有机玻璃管中加入示踪粒子的农药与水的混合图像进行了采集,然后对采集到的原始图像,进行非均匀背景修正、粒子图像分割、混合药液中气泡去除、重叠或粘连示踪粒子处理、粒子参数提取等技术处理<sup>[5-7]</sup>,即可得到图2所示的有机玻璃管内获得的粒子图像,以便分析两种液体混合的均匀程度。



图2 有机玻璃管内粒子图像

Fig.2 Particle image in plexiglas pipe

### 1.3 混药器混合效果研究方法

为了检验两种液体的混合效果,此处引入粒子分布的概率密度。在图像处理过程中获得每个粒子在图像上的位置,将在  $t$  时刻获得的帧图像划分成  $n_x \times n_y$  单元,  $n_x$  为帧图像在  $x$  方向划分的个数,  $n_y$  为帧图像在  $y$  方向划分的个数,则  $(i, j)$  单元粒子分

布的概率密度为

$$\rho_{ij} = \frac{A \sum_{t=1}^T N_{ij}^t}{\sum_{t=1}^T A_{ij} N^t} \quad (1)$$

式中  $A$ ——以像素计算的帧图像的面积

$A_{ij}$ ——以像素计算的  $(i, j)$  单元的面积

$N^t$ ——帧图像上的总粒子数

$N_{ij}^t$ —— $(i, j)$  单元上的粒子数

$\rho_{ij}$ 是通过迭代  $1 \sim T$  时刻的  $T$  帧连续图像得到的,每一个粒子记数1次。

如果两种液体是理想的均匀混合,则粒子在图像中的分布是均匀的,粒子在每个单元的概率密度为1,粒子在有机玻璃管纵向分布应服从正态分布。为了衡量粒子在有机玻璃管中实际纵向分布与正态分布的偏离情况,本文引入样本峰度来度量样本数据偏离某分布的情况,正态分布的峰度为3。当样本数据的曲线峰值比正态分布的高时,峰度大于3;反之,比正态分布的低时,峰度小于3。样本峰度定义为

$$k = \frac{E(X - \mu)^4}{\sigma^4} \quad (2)$$

式中  $X$ ——样本总体  $\mu$ ——平均值

$\sigma$ ——标准差  $E(X - \mu)$ —— $X$  期望值

偏度用于衡量样本均值的对称性。正态分布的偏度为零。为了表明实际的粒子分布与理想分布的偏离程度,用混合均匀度  $c$  来评价两种液体混合的均匀程度,其变化范围在  $0 \sim 1$  之间。

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_y} \rho_{ij}}{\sqrt{(n_x n_y) \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_y} \rho_{ij}^2}} \quad (3)$$

## 2 混药器混合效果分析

### 2.1 试验与结果

试验时柱塞泵转速为  $500, 600, 700, 800 \text{ r/min}$ , 压力为  $1, 2, 3, 4 \text{ MPa}$ , 进行全面的16次试验,并得到每次试验的混合图像。图3为泵转速  $800 \text{ r/min}$  时不同压力下获得的粒子图像。

### 2.2 质心坐标和混合均匀度

将泵工作于转速  $700 \text{ r/min}$ 、压力  $2 \text{ MPa}$  时获得的二值粒子图像划分为8部分,如图4所示。每个部分的粒子个数分别为:  $N_1 = 20, N_2 = 25, N_3 = 21, N_4 = 22, N_5 = 19, N_6 = 24, N_7 = 28, N_8 = 21$ , 根据式(1)~(3)计算得到混药器混合均匀度  $c = 0.944$ 。

采用灰度质心法<sup>[6]</sup>计算得到粒子的质心坐标

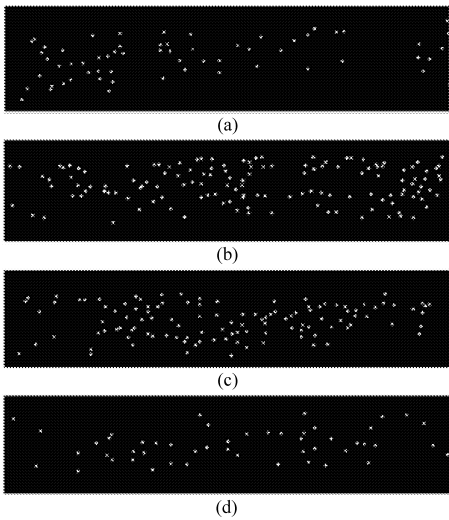


图 3 泵转速 800 r/min 时不同压力下的粒子图像

Fig. 3 Particle images of 800 r/min

(a) 4 MPa (b) 3 MPa (c) 2 MPa (d) 1 MPa

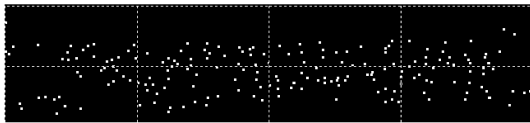
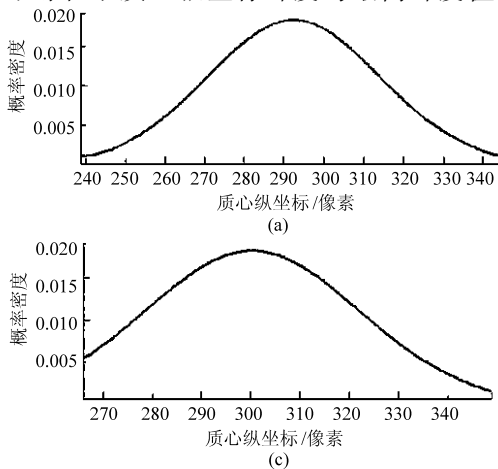


图 4 图像分块处理

Fig. 4 Blocking of particle image in plexiglas pipe

后,绘制其分布曲线,如图 5 所示。由图可见,粒子纵坐标近似服从(297.5,20.3)的正态分布,粒子质心纵坐标峰度为 2.448。

通过对处理得到的示踪粒子二值图像采用前述方法进行分块处理、计算,即可得到混药器在线混合的混合均匀度以及粒子质心纵坐标峰度值,如表 1 所示。由表 1 可知,混药器的混合均匀度与示踪粒子质心纵坐标的分布有着对应关系,在不同工况下混药器混合均匀度与粒子质心纵坐标有着基本相同的变化趋势。示踪粒子质心纵坐标分布与正态分布越接近,即示踪粒子质心纵坐标峰度与最高峰度值



越接近时,混合均匀度越大,混药器的混合效果越好。

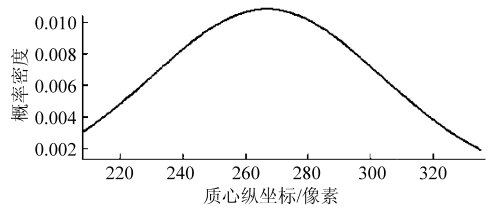


图 5 粒子质心纵坐标分布图

Fig. 5 Distribution of particle centroid

表 1 混合均匀度和峰度

Tab.1 Mixing uniformity and kurtosis conditions

泵压 力 /MPa	三缸柱塞泵转速/ $r \cdot \min^{-1}$							
	500		600		700		800	
	均匀度	峰度	均匀度	峰度	均匀度	峰度	均匀度	峰度
1	0.51	1.739	0.86	2.284	0.88	2.448	0.78	2.198
2	0.68	2.008	0.88	2.447	0.94	2.825	0.73	2.110
3	0.71	2.070	0.77	2.160	0.90	2.479	0.71	2.100
4	0.86	2.281	0.92	2.618	0.63	1.998	0.61	1.878

2.3 不同工况下混合效果

图 6 为泵转速 800 r/min 时不同压力下质心纵坐标分布图。

由图可以看出,有机玻璃管中粒子的分布都近似服从正态分布,说明从混药器进入有机玻璃管中的粒子多数分布于管的中间,上下两边较少。

图 7 为柱塞泵不同转速下压力和混合均匀度关系曲线。从图中可以看出,当泵工作转速较低时,随着转速的增加,混合均匀度有增大的趋势。通过对比图 7 还可以发现,当泵工作压力较大时,随着泵转速的增加,混合均匀度有减小的趋势。

图 8 为泵转速为 500、600、700 和 800 r/min 时,根据计算值所拟合的混合均匀度变化曲线。拟合压

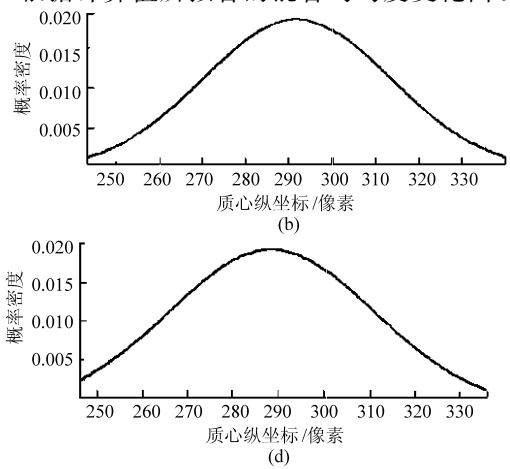


图 6 泵转速 800 r/min 时不同压力下质心纵坐标分布图

Fig. 6 Particle centroids distribution of 800 r/min

(a) 1 MPa (b) 2 MPa (c) 3 MPa (d) 4 MPa

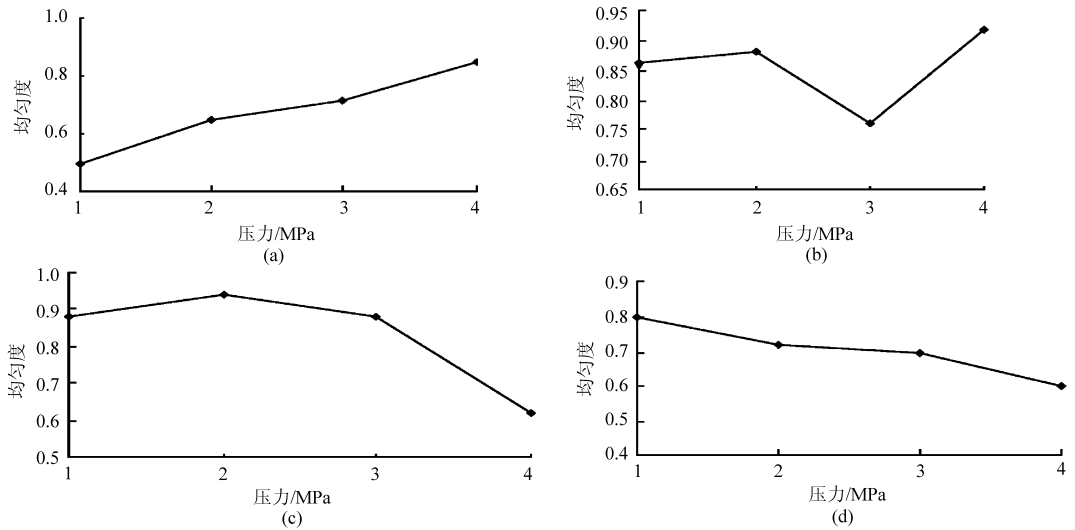


图7 不同泵转速下混合均匀度变化曲线

Fig. 7 Variation trend of mixing uniformity

(a) 500 r/min (b) 600 r/min (c) 700 r/min (d) 800 r/min

力分别为0、0.5、1.5、2.5、3.5 MPa。从图中可以看出,当泵转速较低时(500 r/min),随着泵工作压力的增大,混药器混合均匀度有增大的趋势,混合效果越来越好;而当泵工作于较高转速时(800 r/min),随着泵工作压力的增大,混药器的混合均匀度逐渐变小,混合效果越来越差。这说明压力的增加对农药在线混合均匀度的影响,只有在一定的泵转速的条件下才是正相关的,这是因为压力增加可以使农药在混药器中迅速扩散而实现农药的均匀混合。而提高泵工作转速将更有利于水流对农药进行冲击从而使其在混合管内扩散并均匀混合,但当泵工作转速提高到一定速度使水的流速增大到一定值时,由于水流速度过快反而会使农药在混药器中来不及均匀混合使混合效果下降。

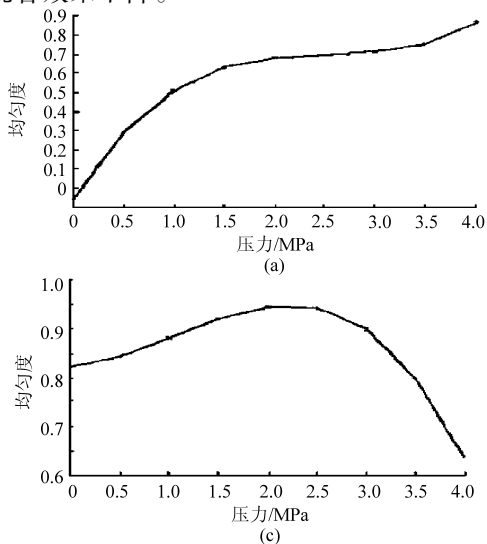


图9为泵工作压力分别为1、2、3、4 MPa时,根据计算值所拟合的混合均匀度变化曲线。从图中可以看到,随着泵工作转速的不断提高,混药器的混合均匀度逐渐提高;但是当泵转速提高到一定极限时,混药器的混合均匀度有一个极大值,过了这个极限,随着泵转速的进一步提高,混药器的混合均匀度开始减小。这样的结果正好验证了前面的分析,即泵转速的提高有利于提高农药在线混合均匀度,但泵的工作转速必须在一定的工作范围内,超过这个范围反而会使混合效果变差。

### 3 结论

(1) 混药器的混合均匀度与示踪粒子质心纵坐标的分布有着对应关系,混药器混合均匀度与粒子

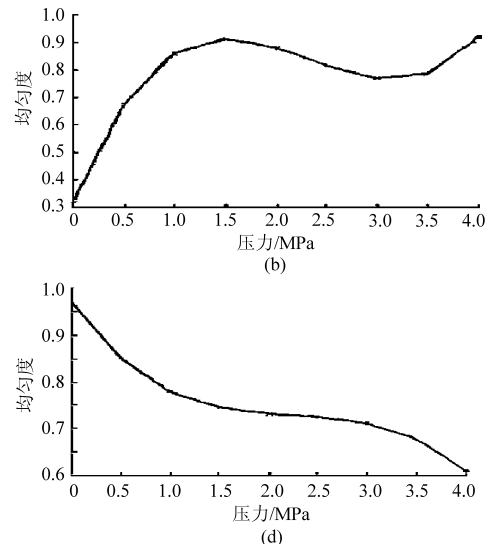


图8 不同泵转速下混合均匀度与压力的关系曲线

Fig. 8 Curves of mixing uniformity and pressure

(a) 500 r/min (b) 600 r/min (c) 700 r/min (d) 800 r/min

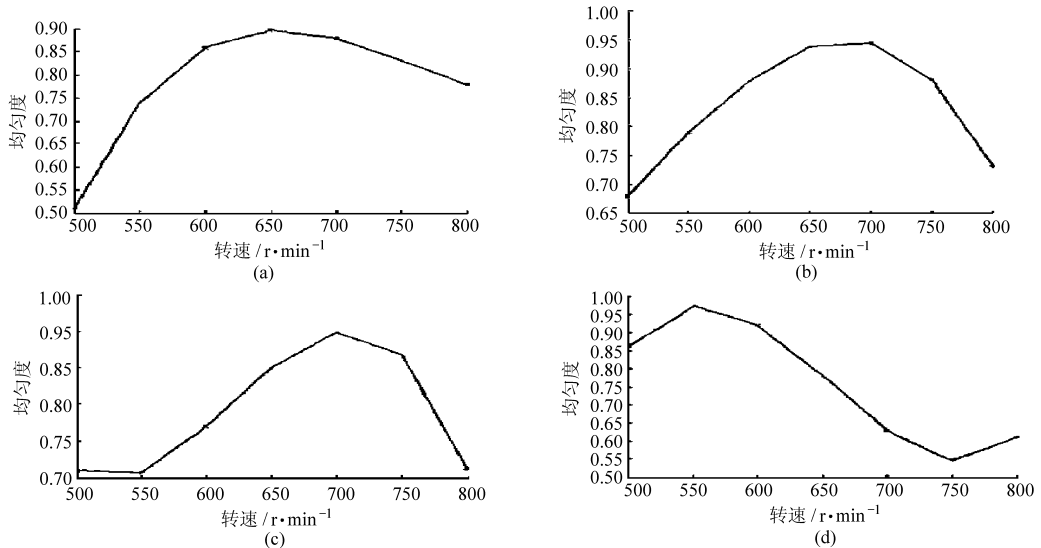


图 9 不同泵压力下转速与混合均匀度关系曲线

Fig. 9 Curves of mixing uniformity and pump rotating speed

(a) 1 MPa (b) 2 MPa (c) 3 MPa (d) 4 MPa

质心纵坐标有着基本相同的趋势。示踪粒子质心纵坐标分布与正态分布越接近,混合均匀度越大,混药器的混合效果越好。

(2) 当泵转速较低时(500 r/min),随着泵工作压力增大,混药器混合均匀度有逐渐增大的趋势,混合效果变好;而当泵工作于较高转速时(800 r/min),随着泵工作压力增大,混药器的混合均匀度逐渐变

小,混合效果变差。

(3) 当泵工作压力不变时,随着泵工作转速的不断提高,混药器的混合均匀度逐渐提高;但是当泵转速提高到一定极限时,混药器的混合均匀度有一个极大值,过了这个极限,随着泵转速的进一步提高,混药器的混合均匀度开始减小,混合效果开始变差。

#### 参 考 文 献

- Jiri V, Peter H, Peter S. Optimization of direct nozzle injection system for site-specific herbicide application [C]. 2007 ASABE Annual Meeting, Paper No. 071085, 2007.
- Hloben P, Sökefeld M, Lammers P S. Untersuchungen der verzögerungszeiten von direkeinspeisungssystemen für die teilschlagspezifische applikation von herbiziden [J]. Agrartechnische Forschung, 2006, 12(1): 14 ~ 18.
- 徐幼林. 植保机械混药器及其农药在线混合性能研究 [D]. 南京:南京林业大学, 2009.  
Xu Youlin. Study on mixers for plant protection machinery and chemical in-line-mixing performances [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009. (in Chinese)
- 阮驰, 孙传东, 白永林, 等. 水流场 PIV 测试系统示踪粒子特性研究 [J]. 实验流体力学, 2006, 20(2): 72 ~ 76.  
Ruan Chi, Sun Chuandong, Bai Yonglin, et al. The characteristics of the tracer particles used in water flow field for PIV system [J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2006, 20(2): 72 ~ 76. (in Chinese)
- 郭敬坤, 徐幼林, 汪希伟. 混药器流体图像采集与分割方法 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 83 ~ 86.  
Guo Jingkun, Xu Youlin, Wang Xiwei. Investigation of liquid image processing methods for pesticide mixer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 83 ~ 86. (in Chinese)
- 郭敬坤. 农药药水在线混合效果的数字图像处理技术研究 [D]. 南京:南京林业大学, 2008.  
Guo Jingkun. Research on mixing degree of direct injection system for pesticide sprayer [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008. (in Chinese)
- 阮晓东, 范毓润, 宋向群, 等. 用流动可视技术研究混合器内流场及混合效果 [J]. 化工学报, 2000, 51(1): 137 ~ 140.  
Ruan Xiaodong, Fan Yurun, Song Xiangqun, et al. Flow field and mixing result in mixer by flow visualization technique [J]. 2000, 51(1): 137 ~ 140. (in Chinese)
- 刘志壮, 徐汉虹, 洪添胜, 等. 在线混药式变量喷雾系统设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 93 ~ 96.  
Liu Zhizhuang, Xu Hanhong, Hong Tiansheng, et al. Key technology of variable-rate spraying system of online mixing pesticide [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 93 ~ 96. (in Chinese)