

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.012

3WZ-700 型果园喷雾机通过性能分析*

邱 威 丁为民 申宝营 史庆春 万南城 顾家冰
(南京农业大学江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031)

【摘要】 针对现代果园低矮密植的园艺特征和果园喷雾机重心动态变化特点,通过试验和建立数学模型对大容量药箱的果园喷雾机的通过性能进行分析,得出药量与越障高度的关系曲线。在 0~200 L 药量区间内前轮越障由 200 mm 下降到 84 mm;在 200~400 L 药量区间内前轮越障高度随药量变化缓慢,由 84 mm 下降到 53 mm;后轮越障高度与喷雾机参数无关。实地测试表明,试验均值与理论值基本一致,喷雾机通过性能较好。

关键词: 果园喷雾机 通过性 越障 试验
中图分类号: U461.5⁺2; S499 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)06-0063-05

Analysis on Trafficability of 3WZ-700 Orchard Sprayer

Qiu Wei Ding Weimin Shen Baoying Shi Qingchun Wan Nancheng Gu Jiabing
(Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment in Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

According to modern orchard planting pattern and dynamic center of gravity of orchard sprayer, a mathematical model was established by theoretical calculation and test. The trafficability of large carton orchard sprayer was analyzed. The obstacle height curve with dosage was obtained. In the dosage range of 0~200 L, the front wheels crossed obstacles reduced from the 200 mm to 84 mm. In the dosage range of 200~400 L, the front wheels crossed obstacles reduced from the 84 mm to 53 mm. Rear wheel obstacle height was independent of machine parameters. Experimental were consistent with theoretical calculations. The results showed that the sprayer had outstanding trafficability in orchard.

Key words Orchard sprayer, Trafficability, Cross obstacles, Experiment

引言

由于现代果园多采用低矮密植的种植模式,行距和株距窄,树高较低、冠层交叉明显,施药机械存在入园难问题,而垄畦和排水沟的农艺要求也给喷雾机作业带来困难^[1~2]。喷雾机既不能碰触上方枝叶,要求有足够的农艺间隙,也要有良好的地面越障能力^[3~7]。3WZ-700 型果园喷雾机是一种适应于低矮密植型果园的大容量药箱自走式喷雾机,药箱满载质量占机具总质量的 1/4。喷雾作业时药量的变化会导致喷雾机重心位置改变,影响机具越障能

力。因此大容量药箱喷雾机的通过性能是机具研究的关键。本文结合机具的几何参数、路面状况和重心变化特点进行综合分析,建立通过性参数数学模型,讨论 3WZ-700 型果园喷雾机在低矮密植果园中的通过性能。

1 低矮密植果园的园艺特征与车体参数

目前,我国果园多采用低矮密植种植模式,行距均在 4~5 m、树高 3 m 左右、上冠层厚 3 m 左右、下层冠厚 0.6 m 左右。冠层最厚处接近行距,两行枝冠几乎交接。3WZ-700 型果园喷雾机采用 4×2 后

收稿日期: 2012-02-22 修回日期: 2012-03-01
* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA100903、2012AA101904)
作者简介: 邱威,博士生,主要从事农业机械装备研究,E-mail: qiuweipass@163.com
通讯作者: 丁为民,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备研究,E-mail: wmding@njau.edu.cn

轮驱动,钢板弹簧悬架机构。图 1 为 3WZ-700 型果园喷雾机在低矮密植果园行驶示意图。

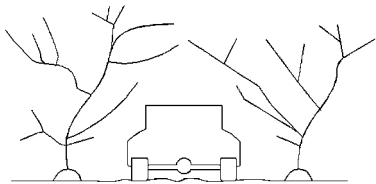


图 1 3WZ-700 型果园喷雾机作业示意图

Fig.1 Operating diagram of 3WZ-700 type orchard sprayer

1.1 喷雾机几何参数

喷雾机行驶时,由于与不规则地面和果树冠层的间隙不足,可能会出现无法通过的现象。影响喷雾机通过性的几何参数主要包括车体外形尺寸、离地间隙、纵横向通过半径等^[8]。3WZ-700 型喷雾机通过性几何参数如表 1 所示。

表 1 喷雾机通过性几何参数

Tab.1 Geometric parameters of orchard sprayer

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/ mm×mm×mm	3 645×1 415×1 765
轴距/mm	2 200
轮距/mm	1 300
最小离地间隙/mm	220
轮胎外径/mm	600
纵向通过半径/mm	2 860
横向通过半径/mm	1 030
前悬/mm	795
后悬/mm	940
轮胎宽度/mm	250

1.2 横向通过半径与培土高度

横向通过半径是指左、右车轮内侧与车桥最低点相切的弧圆半径。由于果园小土丘较多,横向通过半径成为制约喷雾机通过性的重要因素。特别是转弯掉头时,喷雾机需要顺利通过树根部培土形成的凸丘。而果树一般培土高度为 100~150 mm,已知两轮内侧距离为 1 275 mm,可以计算出喷雾机横向通过半径 R ,如图 2 所示。

由图中几何关系可得

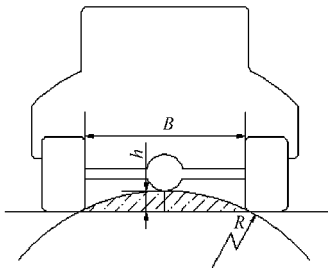


图 2 喷雾机横向通过半径计算示意图

Fig.2 Calculating diagram of horizontal radius

$$R^2 = (R - h)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2 \tag{1}$$

计算得出 $R = 1\,430\text{ mm}$,表明当喷雾机横向通过半径为 $1\,430\text{ mm}$ 时,最大可以越过土丘高度为 150 mm 。横向通过半径越小,喷雾机通过性越好^[5]。3WZ-700 型果园喷雾机横向通过半径为 $1\,030\text{ mm}$,满足无碰撞通过果园内小丘等障碍物的作业要求。

2 自走式喷雾机田间越障性能

2.1 喷雾机动态重心轨迹测定

重心的位置是影响喷雾机越障性能的重要参数。3WZ-700 型果园喷雾机空载质量为 $1\,260\text{ kg}$,药箱满载质量为 400 kg ,药液质量约占总质量的 25% 。因此有必要分析药液量的动态变化对喷雾机重心位置的影响。2011 年 11 月,在江苏省农业机械试验鉴定基地,采用力矩平衡法对喷雾机进行重心位置测量^[9],如图 3 所示。

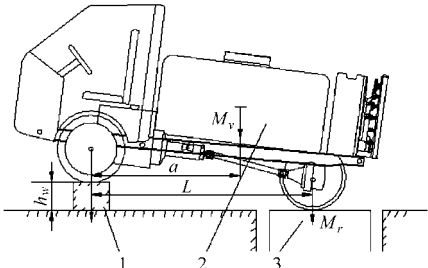


图 3 基于动态重心的喷雾机受力分析图

Fig.3 Stress analysis of dynamic center of gravity for sprayer

1. 障碍物 2. 喷雾机 3. 地磅

从空载开始,每次注入药箱 50 L 清水,直到满载 400 L 为止,记录每次注入的药液量 x 。在每次注入药液后,以 5 cm 为单位逐步改变障碍高度 h_w 直至 25 cm ,记录另一轴的负荷,取均值。

前轴中心线距车辆重心的距离为

$$a = \frac{M_r}{M_v} L \tag{2}$$

其中 $M_v = 1\,260 + 50n$ ($n = 0, 1, \dots, 8$)

式中 M_r ——后轴载质量,kg

M_v ——车辆总质量,kg

L ——轴距,取 $L = 2\,200\text{ mm}$

由式(2)可以求出重心位置 a ,最后可以得出药量变化对重心位置影响曲线如图 4 所示。

根据最小二乘法对数据进行方程拟合,得

$$a = 3\,790x^{-0.21} \quad (0 \leq x \leq 400) \tag{3}$$

2.2 跨越障碍和壕沟数学模型与计算

由于底盘在克服障碍时速度较低,故当作静力学问题来考虑。假设轮胎为刚性轮胎,从理论上推导喷雾机结构参数与其通过性能。喷雾机前、后轮

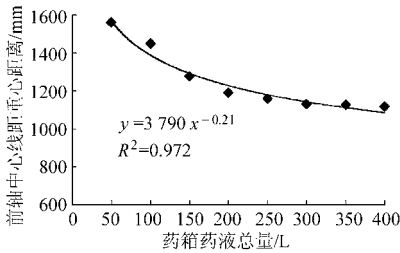


图 4 药量对重心位置影响曲线

Fig. 4 Effect of dosage on center of gravity

跨越障碍时,可建立其简化受力模型^[10-18]。

2.2.1 前轮越障受力情况

喷雾机前轮越障受力如图 5 所示,由此可以建立力和力矩平衡方程为

$$\begin{cases} F_1 \cos \alpha_1 + f F_1 \sin \alpha_1 - \varphi F_2 = 0 \\ F_1 \sin \alpha_1 + F_2 - f F_1 \cos \alpha_1 - G = 0 \\ f F_1 \frac{D}{2} + F_2 L - G a - \varphi F_2 \frac{D}{2} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 G ——喷雾机总重力, N

φ ——附着系数 F_2 ——后桥轴荷, N

F_1 ——障碍对车轮反作用力, N

D ——轮胎静力直径, m

f ——滚动阻力系数

α_1 ——前轮与障碍夹角

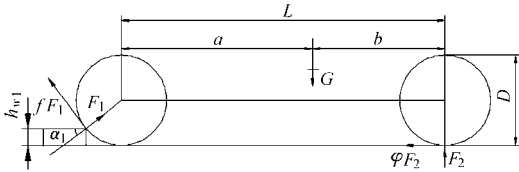


图 5 喷雾机前轮越障受力图

Fig. 5 Calculating diagram of front wheel over obstacles

化简方程组(4)得

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\varphi + f a}{\varphi L} - \frac{f}{\varphi} + \frac{f D}{2L} \right) \sin \alpha_1 - \\ & \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1 - f \varphi}{\varphi} \frac{a}{L} - \frac{D}{2L} \right) \cos \alpha_1 = \frac{f D}{2L} \end{aligned} \quad (5)$$

由图可得

$$\sin \alpha_1 = 1 - 2 \frac{h_{w1}}{D} \quad (6)$$

式中 h_{w1} ——前轮跨越障碍高度

将式(6)代入式(5)中,并设硬路面 $f \approx 0$, 则式(6)可以改写成

$$h_{w1} = \frac{D}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2 \varphi a}{2L - 2a - \varphi D} \right)^2}} \right] \quad (7)$$

把样机参数 $D = 600$ mm, $L = 2\,200$ mm, 旱田附着系数取值 $\varphi = 0.6$ 代入式(7), 得

$$h_{w1} = 300 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.2a}{4\,400 - 2a - 360} \right)^2}} \right] \quad (8)$$

结合式(3), 通过计算可以得到前轮越障高度与药量之间的函数关系为

$$h_{w1} = 300 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{4\,548x^{-0.21}}{4\,040 - 7\,580x^{-0.21}} \right)^2}} \right] \quad (0 \leq x \leq 400) \quad (9)$$

药量对前轮越障高度影响曲线如图 6 所示。可看出, 前轮跨越障碍高度范围 53 ~ 200 mm, 跨越障碍能力随着药量的增加而减小。药液 0 ~ 200 L, 前轮跨越障碍高度由 200 mm 下降到 84 mm。药液 200 ~ 400 L, 前轮越障高度缓慢减小。这是由于药量增加使喷雾机重心前移, 导致前轮越障能力下降。随着药量持续增加, 重心位置前移对越障能力影响的显著性下降。喷雾机满载时, 前轮越障高度不小于 50 mm, 满足田间作业要求。

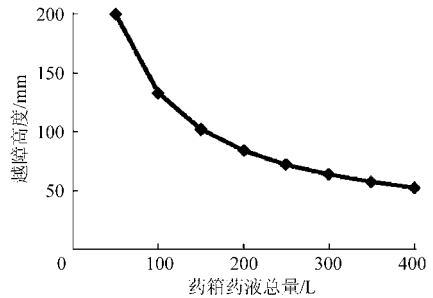


图 6 药量与前轮越障高度关系曲线

Fig. 6 Curve between dosage and front wheel over obstacles

2.2.2 后轮越障受力情况

喷雾机后轮越障受力如图 7 所示, 可以建立后轮力和力矩平衡方程为

$$\begin{cases} F_2 \cos \alpha_2 - \varphi F_2 \sin \alpha_2 + f F_1 = 0 \\ \varphi F_2 \cos \alpha_2 + F_2 \sin \alpha_2 + F_1 - G = 0 \\ \varphi D F_2 / 2 + F_1 L - G b - \frac{f F_1 D}{2} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

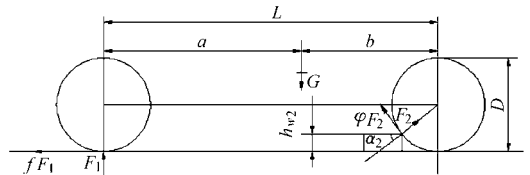


图 7 喷雾机后轮越障受力图

Fig. 7 Calculating diagram of rear wheel over obstacles

将 $\sin \alpha_2 = 1 - \frac{2h_{w2}}{D}$ 及 $f = 0$ 代入式(10), 可解得后轮跨越障碍高度

$$h_{w2} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \varphi^2}} \right) \quad (11)$$

可以看出后轮越过障碍能力与喷雾机参数无关。

2.2.3 跨越壕沟的数学模型与计算

跨越壕沟的受力情况如图 8 所示。前轮与壕沟有 2 个接触点,而当后接触点 $F_x = F_y = 0$ 时,为喷雾机跨越壕沟的最大宽度。此种工况可以转换为喷雾机跨越高度为 h_{w1} 的障碍问题。

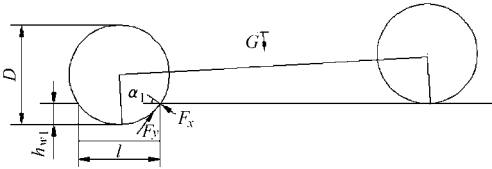


图 8 跨越壕沟的受力图

Fig. 8 Calculating diagram of crossing ditch

壕沟宽度 l 与车轮直径 D 有以下关系

$$l = D\cos\alpha_1 = 2D\sqrt{\frac{h_{w1}}{D} - \left(\frac{h_{w1}}{D}\right)^2} \tag{12}$$

代入 $D = 600\text{ mm}$, 由此可得 h_{w1} 与 l 的关系, 结合式(9)便可得到药量 x 与壕沟宽度 l 之间的函数关系, 计算数值如表 2 所示。

表 2 不同药量与跨越壕沟宽度关系数值
Tab.2 Width of trench in different dosages

序号	药量/L	壕沟宽度/mm
1	50	566.8
2	100	498.6
3	150	451.1
4	200	416.9
5	250	390.8
6	300	370.2
7	350	353.4
8	400	339.3

3 试验与结果分析

3.1 试验方法

2011 年 12 月,在江苏省农业机械试验鉴定基地进行通过性能试验。参照《汽车地形通过性试验方法》中相关规定^[19],设置凸丘、垂直障碍、水平壕沟 3 种地形特征进行测试,如图 9 所示。

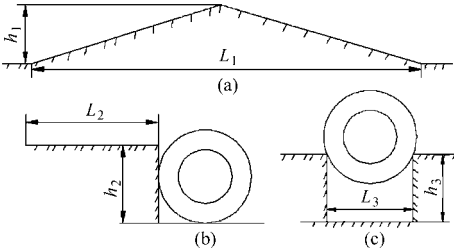


图 9 不同地形特征的通过性试验

Fig. 9 Test in different terrain features for orchard sprayer

喷雾机 1 挡工况,低速驶近障碍物,油门全开驶过障碍物。观察车体与障碍物有无接触、碰撞或能否跨越障碍物。

凸丘试验(图 9a):喷雾机两轮横跨凸丘前进或者倒退行驶。令 $L_1 = B, h_1$ 分别取 100、150、200、230、250 mm 进行测试。

垂直障碍物试验(图 9b): L_2 不小于喷雾机轴距,令 $L_2 = 3\,000\text{ mm}$ 。在药量 50 ~ 400 L 区间内,每隔 50 L 取一个测试工况,进行垂直障碍物试验,重复 3 次。记录各测试工况下喷雾机能跨越最大高度。

跨越壕沟试验(图 9c):与垂直障碍物测试相同的各工况下,进行跨越壕沟试验,重复 3 次。记录各测试工况下喷雾机能跨越的最大宽度。

3.2 结果分析

凸丘试验结果如表 3 所示。可以看出,当凸丘高度 230 mm,喷雾机就会和凸丘发生碰撞,而果树的培土高度一般为 150 mm,满足使用要求,与理论计算相对一致。

表 3 凸丘试验结果
Tab.3 Test of mound

测试序号	凸丘高度 h_1 /mm				
	100	150	200	230	250
1	通过	通过	通过	通过	不能通过
2	通过	通过	通过	不能通过	不能通过
3	通过	通过	通过	不能通过	不能通过

跨越障碍物和壕沟试验中,综合 3 次重复试验给出试验区间值,结果如表 4 所示。从表中可以看出,随着药量增加,喷雾机越障能力下降。在 50 ~ 200 L 区间越障能力下降较快,250 ~ 400 L 越障能力趋于稳定。对于行株距为 5 m × 3 m 的果园,3WZ-700 型果园喷雾机在喷雾压力 1.0 MPa、风机转速

表 4 垂直障碍物和壕沟试验结果
Tab.4 Test of obstacle

药量/L	跨越最大垂直距离/mm		跨越最大壕沟宽度/mm	
	理论值	试验值	理论值	试验值
50	200.2	210 ~ 220	566.8	496 ~ 508
100	133.1	125 ~ 133	498.6	442 ~ 465
150	102.2	80 ~ 100	451.1	350 ~ 400
200	84.2	80 ~ 100	416.9	350 ~ 400
250	72.4	60 ~ 70	390.8	300 ~ 350
300	63.9	60 ~ 70	370.2	300 ~ 350
350	57.6	60 ~ 70	353.4	300 ~ 350
400	52.8	60 ~ 70	339.3	300 ~ 350

1 400 r/min、行驶速度 1.0 ~ 1.2 m/s 时, 平均施药液量为 14.4 L/min。按喷药辅助时间与喷药时间 1:1 条件计算, 300 ~ 400 L 药箱容积可以满足机具连续作业 40 ~ 60 min, 作业效率达 678 棵/h, 即 1.02 hm²/h。

喷雾机载有 300 ~ 400 L 药量时, 有较好的作业效率, 越障高度、跨越壕沟宽度也达到 60 ~ 70 mm、300 ~ 350 mm, 满足田间作业要求。结合车架负载强度、喷雾机田间牵引性能等因素, 适应于低矮密植型果园的自走式喷雾机药箱的推荐容量 300 ~ 400 L。

跨越垂直障碍物高度试验值与理论计算值一致, 而壕沟试验值比理论值稍低。因为喷雾机在跨越壕沟时, 前轮下沉, 药箱的溶液向前移动, 造成驱动桥附着力减小, 驱动力大于附着力, 出现打滑现象。

4 结论

(1) 根据现代果园园艺特征, 分析了 3WZ-700 型喷雾机的通过性几何参数, 理论计算和凸丘试验表明该喷雾机对果园培土高度 200 mm 的凸丘有良好的通过性。

(2) 通过对喷雾机动态重心的测量, 建立数学模型, 得出药量和越障能力函数关系, 随着药量增加, 越障能力呈现先快后慢的递减趋势。越障试验和理论值一致, 喷雾机通过性能较好。

(3) 该机具装有 0 ~ 400 L 药量, 可以跨越 60 ~ 220 mm 高度垂直障碍物, 300 ~ 500 mm 宽度壕沟。在满载或者接近满载时, 可以考虑增加配重, 改变喷雾机重心位置从而改善越障能力。

(4) 探讨农用车的田间越障性能, 推荐此类喷雾机药箱容量 300 ~ 400 L。

参 考 文 献

- 傅锡敏, 吕晓兰, 丁为民, 等. 我国果园植保机械现状与技术需求[J]. 中国农机化, 2009(6): 10 ~ 13, 17.
Fu Ximin, Lü Xiaolan, Ding Weimin, et al. Present state and technical requirement about orchard plant protection machinery in China[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2009(6): 10 ~ 13, 17. (in Chinese)
- 范永申, 黄修桥, 李金山, 等. 喷灌和软管灌溉两用轻小机组洒水车稳定性分析[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(3): 256 ~ 259.
Fan Yongshen, Huang Xiuhao, Li Jinshan, et al. Stability analysis on light weight and small size watering cart for dual purpose of both sprinkling irrigation and hose irrigation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2010, 28(3): 256 ~ 259. (in Chinese)
- 魏道高, 区颖刚, 杨丹彤, 等. 多桥驱动车辆越障时轴荷动态分配研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(2): 39 ~ 42, 53.
Wei Daogao, Ou Yinggang, Yang Dantong, et al. Calculation of dynamic axle-load of 4-axle driven vehicle crossing obstacle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 39 ~ 42, 53. (in Chinese)
- 魏道高, 周孔亢, 区颖刚, 等. 滩涂车辆的性能分析[J]. 农业机械学报, 2002, 33(5): 31 ~ 34.
Wei Daogao, Zhou Kongkang, Ou Yinggang, et al. Analysis on the cross function of a shore-vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(5): 31 ~ 34. (in Chinese)
- 张广庆, 朱思洪, 李伟华, 等. 铰接摆杆式大功率拖拉机单边越障动态特性仿真分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 67 ~ 73.
Zhang Guangqing, Zhu Sihong, Li Weihua, et al. Dynamic characteristics of large wheel tractor with hinge swing link during unilateral obstacle surmounting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 67 ~ 73. (in Chinese)
- 舒庆, 刘晋浩. 防风固沙草方格铺设机器人通过性研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(7): 99 ~ 102, 120.
Shu Qing, Liu Jinhao. Research on traffic ability of straw-checker board sand barriers paving robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(7): 99 ~ 102, 120. (in Chinese)
- 于庆有, 司俊山, 陆怀民. 森林消防车沼泽地通过性研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(1): 80 ~ 84.
Yu Qingyou, Si Junshan, Lu Huaimin. A study on pass performance of forest fire engine in Marshland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(1): 80 ~ 84. (in Chinese)
- 李文哲, 许绮川. 汽车拖拉机学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- GB/T 12538—2003 两轴道路车辆 重心位置的测定[S]. 2003.
- 马金猛, 李小凡, 姚辰, 等. 地面移动机器人越障动力学建模与分析[J]. 机器人, 2008, 37(3): 273 ~ 278.
Ma Jinneng, Li Xiaofan, Yao Chen, et al. Dynamic modeling and analysis for obstacle negotiation of ground mobile robot[J]. Robot, 2008, 37(3): 273 ~ 278. (in Chinese)

- Huang Yi, Zhao Yunfeng, Xiao Xiaorong, et al. The study on SDS - PAGE technic classification of the whole protein of oral bacteria[J]. West China Medical Journal, 1997, 15(1): 21 ~ 24. (in Chinese)
- 16 何正祥, 张部昌, 马清钧, 等. 大肠杆菌周质蛋白提取工艺的改进[J]. 生物学杂志, 2005, 22(6): 46 ~ 47.
He Zhengxiang, Zhang Buchang, Ma Qingjun, et al. Improvement on extraction of periplasmic proteins in *Escherichia coli* [J]. Journal of Biology, 2005, 22(6): 46 ~ 47. (in Chinese)
- 17 Laemmli U K. Cleavage of structural protein during the assembly of the head of bacteriophage T4 [J]. Nature, 1970, 227: 680 ~ 685.
- 18 唐泽丽, 李多伟, 王瑶, 等. 秦艽种子蛋白质的提取及 SDS 电泳研究[J]. 西北药学杂志, 2011, 26(2): 94 ~ 96.
Tang Zeli, Li Duowei, Wang Yao, et al. Extraction of proteins from the seed of *G. macrophylla* and analysis by SDS electrophoresis [J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2011, 26(2): 94 ~ 96. (in Chinese)
- 19 袁亚宏, 王周利, 蔡瑞, 等. 苹果汁中拟除虫菊酯类农药的超声波 - TiO_2 催化去除[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 124 ~ 129.
Yuan Yahong, Wang Zhouli, Cai Rui, et al. Catalytic removal of pyrethroid pesticides in apple juice by ultrasonic treatment coupling with TiO_2 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 124 ~ 129. (in Chinese)
- 20 Ren Xiaodong, Yu Dawei, Han Siping, et al. Thermolysis of recombinant *Escherichia coli* for recovering a thermostable enzyme [J]. Biochemical Engineering Journal, 2007, 33(1): 94 ~ 98.
- 21 Gogate P R, Kabadi A M. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology [J]. Biochemical Engineering Journal, 2009, 44(1): 60 ~ 72.
- 22 张海晖, 武妍, 段玉清, 等. 亚临界水萃取米糠蛋白工艺与功能特性研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 139 ~ 143.
Zhang Haihui, Wu Yan, Duan Yuqing, et al. Optimization for the extraction and function characteristics of protein from rice bran by subcritical water[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 139 ~ 143. (in Chinese)
- 23 Hilhorst R, Fijneman P, Heering D, et al. Protein extraction using reversed micelles[J]. Pure and Applied Chemistry, 1992, 64(11): 1 765 ~ 1 770.
- 24 Zhang Shaobing, Wang Zhang, Xu Shiying. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2007, 84(1): 97 ~ 105.
- 25 Sun Xiaohong, Zhu Kexue, Zhou Huiming. Optimization of a novel backward extraction of defatted wheat germ protein from reverse micelles [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 328 ~ 333.
-

(上接第 67 页)

- 11 邱威, 丁为民, 汪小岳, 等. 3WZ - 700 型自走式果园风送定向喷雾机[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 26 ~ 30, 44.
Qiu Wei, Ding Weimin, Wang Xiaochan, et al. 3WZ - 700 self-propelled air-blowing orchard sprayer[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 26 ~ 30, 44. (in Chinese)
- 12 张云龙, 诸文农, 孙冬野, 等. 履带拖拉机越障失稳机理与试验研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(4): 7 ~ 11.
Zhang Yunlong, Zhu Wennong, Sun Dongye, et al. Mechanism and experimental research on track-type tractors during surmounting an obstacle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(4): 7 ~ 11. (in Chinese)
- 13 范华林, 刘福君. 箱式路面体系车辆通过性机理分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 26 ~ 29.
Fan Hualin, Liu Fujun. Terramechanics and traffic ability of pin-jointed box road equipment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(2): 26 ~ 29. (in Chinese)
- 14 Kim C, Yun S, Park K, et al. Sensing system design and torque analysis of a haptic operated climbing robot[C] // Proceedings of IEEE /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004: 1 845 ~ 1 848.
- 15 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- 16 Liu J G, Wang Y C, Ma S G, et al. Analysis of stairs climbing ability for a tracked reconfigurable modular robot[C] // Proceedings of the IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robots, 2005: 36 ~ 41.
- 17 张海洪, 龚振邦, 谈士力. 全方位越障移动机构研究[J]. 机器人, 2001, 23(4): 341 ~ 345.
Zhang Haihong, Gong Zhenbang, Tan Shili. Omni-directional obstacle avoidance mechanism[J]. Robot, 2001, 23(4): 341 ~ 345. (in Chinese)
- 18 周孔允. 车辆理论基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1996.
- 19 GB/T 12541—1990 汽车地形通过性试验方法[S]. 1990.