

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.007

永磁体磁吸式排种器充种性能仿真与实验*

胡建平 王奇瑞 邵秀平

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 以圆柱形永磁体为磁力排种元件设计了永磁体磁吸式精密排种器。对其充种过程进行分析,建立了充种动力学模型,并通过 Matlab 编程仿真分析了排种轮转速、充种角以及种子相对排种轮的摩擦因数对排种器充种率的影响,并确定了各参数的优化组合。仿真表明,充种率与排种轮转速、充种角以及种子相对排种轮的摩擦因数呈 S 型、指数型、对数型关系。在优化的参数组合下进行实验,其充种率可达 97%。

关键词: 磁吸式排种器 充种 永磁体 动力学模型 性能仿真 实验

中图分类号: S223.2⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0035-04

Simulation on Magnetic Precision Seed-metering Device

Hu Jianping Wang Qirui Shao Xiuping

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

Abstract

A kind of permanent magnetic precision seed-metering device was designed. The seeding component was a cylindrical permanent magnet. According to the working principles of the permanent magnetic precision seed-metering, the model of seeds pickup process was established. A Matlab program based on this model was made. The influences of angular velocity, pickup angle, and relative coefficient of friction on pickup ratio were simulated and analyzed. Combination of optimal parameters was found. The relationship between pickup ratio and angular velocity, pickup angle, relative coefficient of friction were S type, exponential type and log-linear type. With the combination of optimal parameters, the pass percentage of seeding could reach to 97%.

Key words Magnetic seed-metering device, Seed-filling, Permanent magnet, Kinetics model, Performance simulation, Experiment

引言

精密播种是现代化农业发展的一个重要的方向^[1],精密排种器是实现机械化育苗的核心部件。目前,精密播种器主要采用气力式^[2~5]、机械式^[6~7]和磁吸式^[8]等排种原理。近年来,针对小颗粒种子精密播种难题,文献[8~11]开展了以电磁铁为磁力排种元件的磁吸式精密排种技术研究。电磁排种元件存在结构尺寸大、电磁线圈发热量大、磁吸力提高受限等不足。本文提出一种永磁体磁吸式排种

器,并对其充种过程进行动力学建模,通过对模型的仿真计算得出排种器充种的最佳条件。

1 永磁体磁吸式排种器结构及工作过程

永磁体磁吸式排种器主要由排种轮、传动轴、固定凸轮、磁吸头夹套、磁吸头、弹簧、盖板、振动种箱等组成,如图 1 所示。

其工作过程为:磁粉包衣种子置于一半开式种箱内,种箱敞开一侧紧靠在排种轮外壁,以防止种子向下掉落。排种轮由传动轴驱动作单向旋转,圆柱

收稿日期:2009-11-23 修回日期:2009-12-17

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A10)和江苏省自然科学基金资助项目(BK2007088)

作者简介:胡建平,教授,博士生导师,主要从事磁吸式精密播种机械研究,E-mail:hujp@ujs.edu.cn

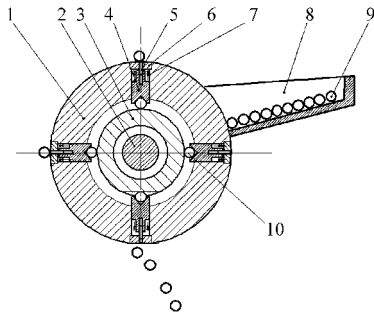


图1 排种器结构简图

Fig. 1 Structural diagram of roller-type metering device

1. 排种轮 2. 传动轴 3. 固定凸轮 4. 磁吸头夹套 5. 盖板
6. 圆柱永磁体 7. 弹簧 8. 种箱 9. 种子 10. 滚珠

凸轮空套在传动轴上并固定不动。磁吸头夹套安装在排种轮孔道内,一边随排种轮作旋转,同时与固定圆柱凸轮配合在孔道内作间歇伸缩运动。磁吸头一端固定在磁吸头夹套内,另一端穿过磁吸头盖板中心孔。当磁吸头处于取种和携种区域时,磁吸头夹套底部的滚珠在圆柱凸轮圆弧上滚动,此时磁吸头只作旋转运动。当磁吸头转到投种区域时,磁吸头夹套底部滚珠运动到凸轮平台,磁吸头相对排种轮外壁逐渐缩进,种子受到的磁力减小,在重力和离心力的作用下种子落入穴孔中。随后磁吸头夹套受凸轮驱动,带动磁吸头逐渐伸出至滚筒壁,进行下一次吸种。

2 排种器充种过程建模分析

由于采用电磁振动式种箱,排种器充种时种子处于振动状态,种子间的摩擦因数可以忽略不计^[1],因此充种过程分析可以简化成对单粒种子充种过程分析。

2.1 排种器充种动力学模型

排种器充种过程可以分为2个阶段:①磁吸头随排种轮转动接近磁粉包衣种子,种子在法向磁吸力的作用下吸附到排种轮壁上,但此时种子受到的切向合外力较小难以克服种子重力,此时种子处于静平衡状态。②当磁吸头继续转过一定角度,种子质心偏离磁极表面中心,切向磁吸力逐渐增大,切向磁吸力和摩擦力克服种子自身重力,使种子作加速吸附运动。由于第1阶段种子处于平衡状态所以不需要对其进行运动分析。主要对第2阶段进行动力学建模分析。充种过程第2阶段种子任意时刻受力情况如图2所示。

设充种过程中种子的切向加速度为 a_τ ,角速度为 ω_n ,根据牛顿第二定律和达朗贝尔原理得

$$\begin{cases} f_\tau - mg\cos(\phi_n + \theta) + ma_\tau + \mu T = 0 \\ f_n - T + m\omega_n^2 r + mg\sin(\phi_n + \theta) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

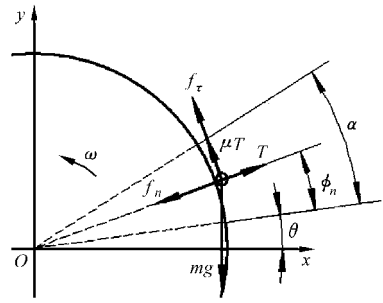


图2 充种过程种子受力分析

Fig. 2 Force diagram of seed in absorbing phase

- 式中 ω ——排种轮角速度,rad/s
 r ——排种轮中心到种子质心的距离,m
 f_τ ——种子在切线方向受到的磁力,N
 f_n ——种子在法线方向受到的磁力,N
 θ ——充种角,rad
 α ——磁吸头与种箱位置的夹角,rad
 ϕ_n ——种子位置与种箱位置夹角,rad
 μ ——种子相对排种轮的摩擦因数
 m ——种子质量,kg
 T ——排种轮对种子的支持力,N

由式(1)得种子的切向加速度为

$$a_\tau = g\cos(\phi_n + \theta) - \frac{f_\tau}{m} - \mu \left[\frac{f_n}{m} + \omega_n^2 r + g\sin(\phi_n + \theta) \right] \quad (2)$$

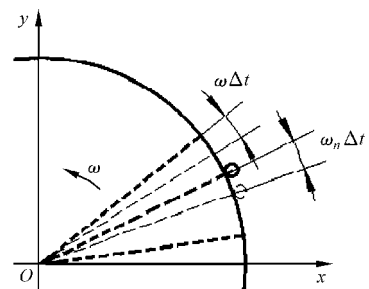
式(2)中 f_τ 、 f_n 可由文献[12~13]中的方法求解。

种子受到的合外力为

$$F = ma_\tau \quad (3)$$

2.2 充种条件分析

当排种轮转过很短的时间 Δt 时种子位置与种箱位置的夹角 $\phi_{n+1} = \phi_n + \omega_n \Delta t$,磁吸头位置与种箱位置的夹角 $\alpha_{n+1} = \alpha_n + \omega \Delta t$,如图3所示。由此可求出 Δt 时刻后种子的加速度和合外力。此时种子的角速度为 ω_{n+1} 。如果 $\omega_{n+1} \geq \omega$,则充种过程结束,成功充种;如果 $\omega_{n+1} < \omega$ 说明充种还没有成功,继续计算下一个 Δt 后种子的角速度,重复以上步骤直到种子的角速度大于等于排种轮的角速度;如果 f_τ 达到最大值时种子的角速度仍然小于排种轮的角速度则充种失败。

图3 Δt 后种子位置示意图Fig. 3 Diagram of seed position after Δt

3 排种过程的数值模拟及验证

3.1 程序实现

在取种过程中任意时刻种子的角速度为 ω_n 则经过 Δt 后种子的角速度为

$$\omega_{n+1} = \omega_n + \frac{a_\tau \Delta t}{r}$$

$$\omega_{n+1} = \omega_n + \frac{g \cos(\phi_n + \theta) - \frac{f_\tau}{m} - \mu \left[\frac{f_n}{m} + \omega_n^2 r + g \sin(\phi_n + \theta) \right]}{r} \Delta t \quad (4)$$

根据所推导的模型编写程序,程序框图如图 4 所示。将随机生成一定数量的种子逐一代入,进行模拟计算,按充种条件判断是否能够成功充种,最后用成功充种种子数目除以种子总数便得到充种率。

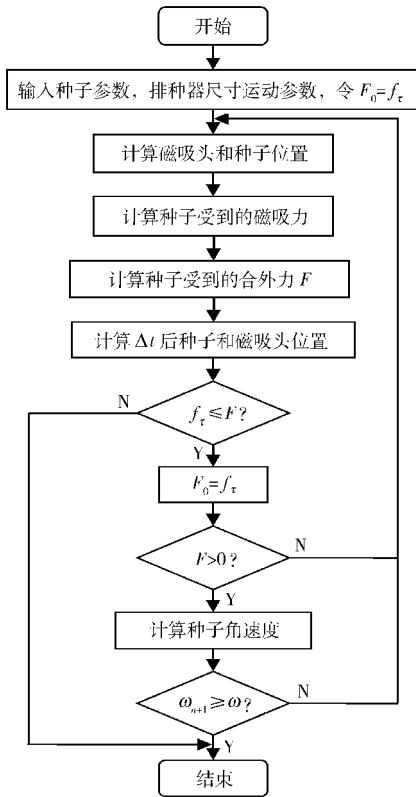


图 4 充种程序框图

Fig. 4 Diagram of pickup program

模型计算时排种器所用的永磁体为钕铁硼 N35,其直径 2 mm,高 7 mm,排种轮直径 80 mm。通过 Matlab 随机生成粒径为 4 mm、千粒质量呈正态分布的 100 粒磁性模拟种子,其均值为 40 g,方差为 5 g。通过模拟计算分别得出排种轮转速、种子相对排种轮的摩擦因数、充种角与充种率的关系。

3.2 仿真结果

图 5 为充种角 0° 、种子相对排种轮摩擦因数

0.2 时,排种轮转速与充种率的关系曲线。由图可知,排种轮转速和充种率近似呈 S 型关系,转速小于 10 r/min 时排种器充种率在 95% 以上;大于 10 r/min 时充种率明显下降。

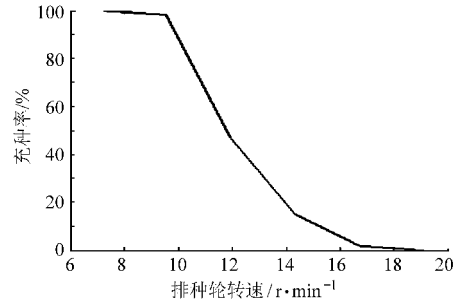


图 5 充种率与排种轮转速的关系曲线

Fig. 5 Relationship between pickup ratio and velocity

图 6 为排种轮转速 9.5 r/min 、充种角 0° 时,种子相对排种轮的摩擦因数与充种率的关系曲线。由图可知,摩擦因数和充种率近似呈对数关系,摩擦因数大于 0.15 时,充种率在 90% 以上。

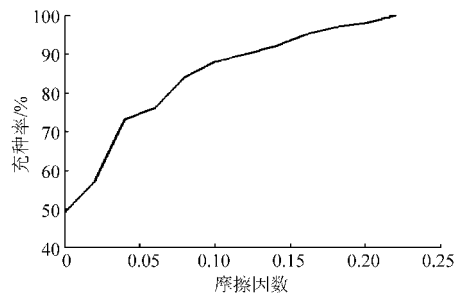


图 6 充种率与摩擦因数的关系曲线

Fig. 6 Relationship between pickup ratio and relative coefficient of friction

图 7 为排种轮转速 19 r/min 、种子相对排种轮摩擦因数 0.2 时,充种角与充种率的关系曲线。由图可知,排种轮充种角和充种率近似呈指数关系。与排种轮转速和充种率实验对照可以发现,在提高充种角条件下,排种轮转速即使提高到 19 r/min ,仍能达到较高的充种率。

通过上述仿真结果可知,降低排种轮转速、增大种子相对排种轮的摩擦因数或增大排种角都可以提高充种率。

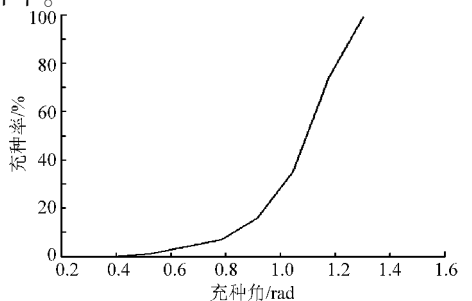


图 7 充种率与充种角的关系曲线

Fig. 7 Relationship between pickup ratio and pickup angle

3.3 实验验证

通过上述仿真结果,确定排种器设计参数和仿真模型参数一致,并加工成如图8所示的排种器。

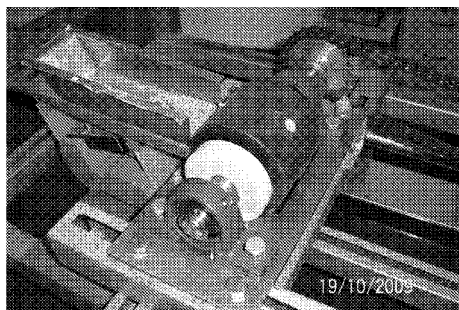


图8 磁吸式精密排种器

Fig.8 Magnetic precision seed-metering device

根据排种器实际设计结构,种子相对排种轮摩擦因数为0.2,取充种角 10° 、排种轮转速 10 r/min 进行充种性能实验。实验种子为宁16号油菜籽,包衣丸粒化磁粉用200目铁粉与普通包衣粉按质量比1:19混合(铁粉占磁粉的质量分数为5%),包衣丸

粒化后种子粒径平均为 4 mm ,千粒质量为 39 g ,经实验得排种器充种率可达97%左右,而仿真结果为99%。

4 结论

(1) 提出了一种磁吸式精密排种器,其结构简单、排种精度高。

(2) 建立了排种器充种动力学模型,根据充种过程种子运动规律确定了充种条件,并通过 Matlab 编程仿真分析了排种轮转速、充种角以及种子与排种轮之间摩擦因数对充种率的影响。

(3) 仿真结果表明:排种轮转速小于 10 r/min ,种子和排种轮摩擦因数大于0.15,充种角取任意值时,其充种率仍在90%以上;当排种轮转速提高到 19 r/min 时,增大充种角和摩擦因数仍能保证90%以上的充种率。根据仿真结果在优化参数组合下进行实验验证,其充种率可达97%。

参 考 文 献

- 李耀明,赵湛,陈进,等. 气吸振动式排种器种盘内种群运动的离散元分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 56~61. Li Yaoming, Zhao Zhan, Chen Jin, et al. Discrete element method simulation of seeds motion in vibrated bed of precision vacuum seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 56~61. (in Chinese)
- 杨松华,孙裕晶,马成林,等. 气力轮精密排种器参数优化[J]. 农业工程学报, 2008, 23(2): 116~120. Yang Songhua, Sun Yujing, Ma Chengling, et al. Optimization of parameters of air-blowing vertical-rotor type precision seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 23(2): 116~120. (in Chinese)
- Gaikwad B B, Sirohi N P S. Design of a low cost pneumatic seeder for nursery plug trays[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99(3): 322~329.
- 陈进,李耀明,王希强,等. 气吸式排种器吸孔气流场的有限元分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 59~62. Chen Jin, Li Yaoming, Wang Xiqiang, et al. Finite element analysis for the sucking nozzle air field of air-suction seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 59~62. (in Chinese)
- 贺俊林,裘祖荣. 新型气压式精密排种器的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 80~83. He Junlin, Qiu Zurong. Experimental study on a new type seed meter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(2): 80~83. (in Chinese)
- 张宇文. 机械式多功能精密排种器的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 50~53. Zhang Yuwen. Research and design for making a new type of mechanized and multiple functions of precision seed-drilled appliance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 50~53. (in Chinese)
- 罗锡文,王在满,蒋恩臣,等. 型孔轮式排种器弹性随动护种带装置设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12): 60~63. Luo Xiwen, Wang Zaiman, Jiang Enchen, et al. Design of disassemble rubber guard device for cell wheel feed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 60~63. (in Chinese)
- 胡建平,郑赛男,刘文东. 磁吸滚筒式精密排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 60~63. Hu Jianping, Zheng Sainan, Liu Wendong. Design and experiment of precision magnetic cylinder seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 60~63. (in Chinese)
- 胡建平,柳召芹,左志宇. 磁吸滚筒式穴盘播种器自动控制系统的设计[J]. 机械设计与制造, 2008(1): 177~178. Hu Jianping, Liu Zhaoqin, Zuo Zhiyu. Design of magnetic plug seedling sower automatic control system[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(1): 177~178. (in Chinese)
- 胡建平,李宣秋,毛罕平. 磁吸式精密播种器磁力排种空间的磁场特性分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 39~43. Hu Jianping, Li Xuanqiu, Mao Hanping. Magnetic field characteristic analysis for the magnetic seed-metering space of the precision seeder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(12): 39~43. (in Chinese)

- 5 王春耀, 陈发, 郭小军, 等. 弧形挑膜齿残膜清理滚筒运动分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 38~40.
Wang Chunyao, Chen Fa, Guo Xiaojun, et al. Analysis on the movement of arc spring-finger type plastic film residue pickup cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 38~40. (in Chinese)
- 6 陈发, 史建新, 赵海军, 等. 固定凸轮残膜捡拾机构的优化设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 43~46.
Chen Fa, Shi Jianxin, Zhao Haijun, et al. Optimum design of fixing cam combination mechanism for collecting plastic residue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(12): 43~46. (in Chinese)
- 7 陈发, 史建新, 王学农, 等. 弧形齿残膜捡拾滚筒捡膜的机理[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 36~41.
Chen Fa, Shi Jianxin, Wang Xuenong, et al. Study on collecting principle of arc-type tooth roller for collecting plastic residue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 36~41. (in Chinese)
- 8 王学农, 陈发, 张佳喜, 等. 基于 SolidWorks 的残膜捡拾滚筒 3D 设计及运动仿真[J]. 农机化研究, 2007(4): 47~48.
Wang Xuenong, Chen Fa, Zhang Jiayi, et al. Residue based on the software of SolidWorks [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(4): 47~48. (in Chinese)
- 9 王学农, 冯斌, 陈发, 等. 棉秸秆切碎及残膜回收联合作业关键技术研究[J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28(3): 49~52.
Wang Xuenong, Feng Bin, Chen Fa, et al. Research on key technic of cotton stalk shredding and used polythene film collecting combined machine[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2005, 28(3): 49~52. (in Chinese)
- 10 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机搂膜机构的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 135~140.
Wang Xuenong, Shi Jianxin, Guo Junxian, et al. Experimental study and design on film raking mechanism of hanging film raker with cotton-stalk crushing and returning to field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 135~140. (in Chinese)
- 11 冯斌. 4JSM-1800 棉秸秆切碎还田残膜回收机的研究[D]. 北京:北京工业大学, 2004.
- 12 蒋建荣. QMB-1500 型后置式起膜拔棉秆机[J]. 新疆农机化, 2007(2): 12.
- 13 张惠友, 侯书林, 那明君, 等. 收膜整地多功能作业机的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 130~134.
Zhang Huiyou, Hou Shulin, Na Mingjun, et al. Multifunctional machine for retrieving the used plastic film after harvesting and soi preparation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 130~134. (in Chinese)
- 14 薛文瑾, 王春耀, 朱振中, 等. 卷膜式棉花苗期残膜回收机的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 147~149.
- 15 刘晨, 薛文瑾, 朱振中, 等. MSM-3 型苗期残膜回收机[J]. 新疆农机化, 1999(4): 13.
- 16 王国强, 刘晨. MSM 型棉花苗期残膜回收机的改进及调整[J]. 新疆农机化, 2002(2): 37.
- 17 董欣, 那明君, 李元强, 等. MS-2 型玉米苗期收膜中耕联合作业机研究[J]. 农机化研究, 2003(2): 175~176.
- 18 张秋芳, 张东兴. 苗期地膜回收机起膜轮的设计[J]. 农机化研究, 2007(9): 84~86.
Zhang Qiufang, Zhang Dongxing. Design of film removing wheel for a polythene film collector during seedling period[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(9): 84~86. (in Chinese)
- 19 阎楚良, 杨方飞, 张书明. 数字化设计技术及其在农业机械设计中的应用[J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 211~214.
- 20 阎楚良. 农业机械数字化设计新技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2003.

(上接第 38 页)

- 11 胡建平, 陆黎. 磁吸式穴盘播种器图像监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(11): 88~92.
Hu Jianping, Lu Li. Design of the image monitored control system for the magnetic type precision seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(11): 88~92. (in Chinese)
- 12 曹辉. 磁道钉磁场特性试验研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2007.
Cao Hui. Experimental study on magnetic field characteristic of magnetic marker [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007. (in Chinese)
- 13 苟晓凡, 杨勇, 郑晓静. 矩形永磁体磁场分布的解析表达式[J]. 应用数学和力学, 2004, 25(3): 271~278.
Gou Xiaofan, Yang Yong, Zheng Xiaojing. Analytic expression of magnetic field distribution of rectangular permanent magnets[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2004, 25(3): 271~278. (in Chinese)