洁蛋保鲜自动涂膜机*

邓小雷[1,2]　周兆忠[1]

(1. 衢州学院机电控制工程系，衢州 324000；2. 浙江大学机械工程学系，杭州 310027)

【摘要】 设计了用于洁蛋保鲜高效自动涂膜的洁蛋覆膜机，开发了控制系统，通过试验对设备的性能进行了验证。对电动机频率分别为5、10、15、20、25、30 Hz下的进蛋链条线速度和设备的处理量进行性能测试，验证了装置的实际生产能力。蛋壳表面干燥情况与覆膜状况的试验结果表明，在温度为25℃，相对湿度为60%，喷雾压力为0.6 MPa，单位时间喷雾量为43.6 mL/min，烘干机干燥能力为1.71 kJ/s时，最佳进蛋链条线速度为12.01 mm/s，处理量为4 804颗/h，烘干机长度为50 cm，洁蛋干燥时间为4.16 s。

关键词：洁蛋　保鲜　自动涂膜

中图分类号：TS205　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2011)07-0160-05

Efficient Automatic Coating Equipment of Clean Egg Preservation

Deng Xiaolei [1,2]　Zhou Zhaozhong [1]

(1. *Department of Mechanical Control Engineering*, *Quzhou College*, *Quzhou* 324000, *China*

2. *Department of Mechanical Engineering*, *Zhejiang University*, *Hangzhou* 310027, *China*)

Abstract

The efficient automatic coating preservation equipment called clean egg coating machine was independently developed, with which clean eggs can be coated and dried. Meanwhile, the control system for batch production was also developed. Experiments of egg in-chain line speed under 6 kinds of different motor frequencies at 5, 10, 15, 20, 25 and 30 Hz respectively were done to test the actual production capacity of the equipment. As a result, the best speed value were found at 12.01 mm/s with the corresponding capacity value at 4 804 pieces/h under the following conditions: temperature is 25℃, RH is 60%, spray pressure is 0.6 MPa, spray quantity is 43.6 mL/min, and drying capability of fluid is 1.71 kJ/s. The dryer length is 50cm and the drying time of clean eggs is 4.16 s.

Key words　Clean egg, Preservation, Coating technology

引言

洁蛋是指带壳鲜蛋经过清洗消毒、干燥、涂膜保鲜、分级等一系列工艺处理的鲜蛋[1]。目前，中国已是世界上禽蛋生产和消费大国(2009年禽蛋产量约为2 741万t)，但是鲜蛋出口量一直很少(2009年约为10万t)，仅占同年禽蛋总产量的0.36%。影响鲜蛋出口的因素较多，其最主要原因是几千年来国内鲜蛋的消费一直以不经清洗、消毒、涂膜、保鲜等任何处理的鲜蛋消费为主，出口面临严重的“绿色壁垒”。

国外较先进的禽蛋生产场一般都具有一整套自动化禽蛋采集设备和鲜壳蛋处理系统，其中以美国、澳大利亚、日本等国家鲜蛋处理的自动化技术水平最高。洁蛋的加工处理工艺流程一般为：集蛋→清洗消毒→干燥→涂保鲜膜→分级(含次蛋优选分级)、包装→打码→恒温保鲜。禽蛋在清洗过后，蛋壳表面的角质层即会失去，微生物容易侵入，使蛋提早腐坏，同时禽蛋内部水分的散失量增多，而使得蛋的质量加速减轻[2]。因此，为防止禽蛋内水分的散失以及外界微生物的入侵，运用保鲜剂涂覆于蛋壳表面，即涂膜，可增加蛋壳强度与维持禽蛋内容物的

收稿日期：2010-10-18　修回日期：2010-11-05

* 浙江省科技厅项目(2008C32032)

作者简介：邓小雷，讲师，浙江大学博士生，主要从事CAD/CAE/CAM技术及数控技术与装备自动化技术研究，E-mail：dxl@zju.edu.cn

品质，也可阻挡外界微生物的入侵，而延长禽蛋的贮存保鲜时间。

本文针对洁蛋的加工处理工艺流程中关键工序——涂保鲜膜开展研究，研发相关设备——洁蛋覆膜机[3]，以实现禽蛋全自动高精度无破损的自动涂膜保鲜处理和风干处理。

1　设备设计

洁蛋保鲜高效自动涂膜设备属机电一体化产品，在其研制过程中，引入并行工程的思想，进行批量涂膜装备的总体设计和关键部件设计，而对其他较为成熟的技术，采用选购配套的方式。

1.1　设计方案

具体设计方案如下：

(1)对洁蛋的传统保鲜方式和现有进口禽蛋自动清洗分级设备进行总结与吸收，在此基础上提出设备总体设计方案。

(2)运用计算机仿真手段，对批量洁蛋保鲜高效自动涂膜设备进行结构设计，尤其是喷头的结构设计。

(3)装备的设计示意图如图 1 所示。洁蛋在链条上的前进方式是横向滚动，即洁蛋的长端与前进方向垂直。喷膜槽的设计为封闭槽箱，其上设有涂膜液喷嘴，在喷膜槽下方设置一涂膜液回流管，能将未附着于蛋壳的涂膜液收集至涂膜液回流槽，避免涂膜液在喷膜槽内累积。洁蛋在离开喷膜槽后，后方设置毛刷装置，由毛刷的转动使涂膜液能够均匀附着于蛋壳表面。在毛刷之后设置一烘干机，由热风将蛋壳表面未干燥的涂膜液烘干，以确保洁蛋在离开自动洁蛋保鲜高效自动涂膜设备后，其表面是干燥的。

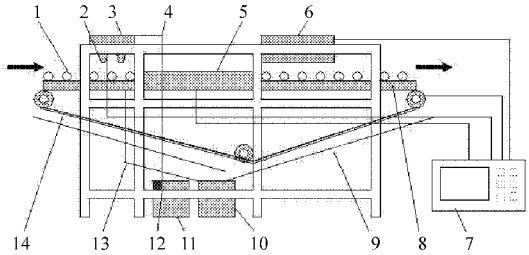


图 1　洁蛋保鲜高效自动涂膜设备示意图

Fig. 1　Efficient automatic coating equipment of clean egg preservation

1. 洁蛋　2. 涂膜液喷嘴　3. 喷膜槽　4. 输液管　5. 毛刷　6. 烘干机　7. 专家控制系统　8. 蛋辊　9. 涂膜液收集板　10. 涂膜液回流槽　11. 涂膜液储槽　12. 泵　13. 涂膜液回流管　14. 进蛋链条

(4)综合运用传感技术和数据采集技术，开发批量自动洁蛋保鲜高效自动涂膜设备的控制系统，自动完成洁蛋的滚动输送、喷涂保鲜剂、毛刷均匀转动和烘干保鲜过程。

(5)对喷嘴喷雾量、喷雾角度、烘干机的温度、风量和进蛋链条的速度等工艺参数进行优化。从工艺上保证高涂膜质量与效率，同时降低涂膜成本。

(6)分阶段对设备机构或控制系统进行调试，最终对样机整机进行联调。在试验与分析的基础上，进一步完善结构。

1.2　数字化样机模型与设备参数

采用数字化软件设计了虚拟样机，并对洁蛋的涂膜、风干过程进行建模仿真。仿真洁蛋涂膜过程中，洁蛋随着链条匀速向前运动的同时能够匀速自转，仿真不同喷嘴压力、角度以及涂膜液流量的涂膜效果。虚拟样机的建模流程图如图 2 所示。

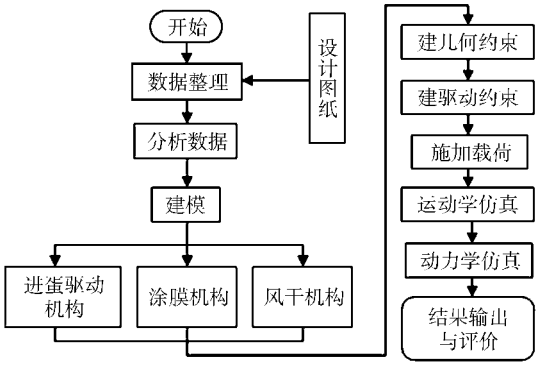


图 2　虚拟样机建模流程

Fig. 2　Modeling process of virtual prototype

(1)动力学模型

设备样机系统为多刚体模型系统，采用笛卡尔方法建模生成的微分代数方程组为[4]

$$\begin{cases} \boldsymbol{M}(\boldsymbol{q},t)\ddot{\boldsymbol{q}} + \boldsymbol{\Phi}_q^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{q},t)\boldsymbol{\lambda} - \boldsymbol{Q}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}},t) = 0 \\ \boldsymbol{\Phi}(\boldsymbol{q},t) = 0 \end{cases} \tag{1}$$

式中 $\boldsymbol{q}$、$\dot{\boldsymbol{q}}$、$\ddot{\boldsymbol{q}} \in \mathbf{R}^n$，分别是系统位置、速度、加速度向量；$\boldsymbol{\lambda} \in \mathbf{R}^m$，为拉格朗日乘子；$t \in \mathbf{R}$，表示时间；$\boldsymbol{M} \in \mathbf{R}^{n\times n}$，为机械系统惯性矩阵；$\boldsymbol{\Phi}_q \in \mathbf{R}^{m\times n}$，为约束雅可比矩阵；$\boldsymbol{Q} \in \mathbf{R}^n$，为外力向量；$\boldsymbol{\Phi} \in \mathbf{R}^m$，为位置约束方程。

对时间求一阶和二阶导数，得到系统的速度和加速度约束方程为

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{\Phi}}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}},t) = \boldsymbol{\Phi}_q(q,t)\dot{\boldsymbol{q}} - \boldsymbol{v}(\boldsymbol{q},t) = 0 \\ \boldsymbol{v} = -\boldsymbol{\Phi}_t(\boldsymbol{q},t) \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{cases} \ddot{\boldsymbol{\Phi}}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}},\ddot{\boldsymbol{q}},t) = \boldsymbol{\Phi}_q(\boldsymbol{q},t)\ddot{\boldsymbol{q}} - \eta(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}},t) = 0 \\ \eta = -(\boldsymbol{\Phi}_q\dot{\boldsymbol{q}})_q\dot{\boldsymbol{q}} - 2\boldsymbol{\Phi}_{qt}\dot{\boldsymbol{q}} - \boldsymbol{\Phi}_{tt} \end{cases} \tag{3}$$

式中　$\boldsymbol{v}$——速度右项

η——加速度右项

$\boldsymbol{\Phi}_q$、$\boldsymbol{\Phi}_t$——$\boldsymbol{\Phi}$ 分别对 $\boldsymbol{q}$、t 的一阶偏导

$\boldsymbol{\Phi}_{qt}$、$\boldsymbol{\Phi}_{tt}$——$\boldsymbol{\Phi}$ 分别对 $\boldsymbol{q}$、t 的二阶偏导

(2)喷雾量

单位时间的喷雾量与喷雾压力的平方根呈正比,即

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{\sqrt{p_1}}{\sqrt{p_2}} \tag{4}$$

式中 W_1、W_2——单位时间的喷雾量,mL/min

p_1、p_2——喷雾压力,MPa

当喷雾压力增大时,喷雾量会增多,喷雾角度与喷雾范围也会改变,洁蛋平均宽度为4.0~5.1 cm,长约为5.4~6.8 cm,因此增加喷雾压力时,需考虑喷雾范围必须大于洁蛋长度。

(3)烘干机干燥能力

洁蛋保鲜高效自动涂膜设备完成时,运用风速计测量烘干机的风速,以及使用温湿度测量仪器测量热风的温度与相对湿度,考核烘干机对蛋壳表面的干燥情况,并由湿空气图中的温度和相对湿度,得出热焓的变化以及烘干机的干燥能力[5],干燥能力用烘干机单位时间提供的热能表示,即

$$Q=\eta M(h_B-h_A) \tag{5}$$

式中 Q——单位时间提供的热能,kJ/s

M——单位时间流通的空气质量,kg/s

h_A、h_B——加热前、后空气的热焓,kJ/kg

η——干燥效率,%

(4)电动机转速

电动机带动设备的链条和辊子,因为转速较慢,测量可采用测周法(“T”法),转速可以表示为

$$n=\frac{60f_c}{zm} \tag{6}$$

式中 n——转速,r/min

f_c——时钟频率

z——电动机转动一周脉冲个数

m——一个脉冲周期内系统时钟脉冲个数

烘干风机其转速较快,其转速测量可以采用测频法(“M”法),转速可以表示为

$$n=\frac{60m}{Tz} \tag{7}$$

式中 T——设定时长

涂膜液喷嘴的位置在涂膜链条的上方,喷雾压力经压力计测量为0.6 MPa时,单位时间喷雾量经量杯测量为43.6 mL/min,喷雾宽幅经卷尺测量为400 mm,在喷雾宽幅的范围内。烘干机风速经风速计测量为4.8 m/s,温度经温湿度计测量为45℃。试验当日温度25℃,相对湿度60%,烘干机将空气加热,其绝对湿度未改变,因此由湿空气图可查出温度25℃、相对湿度60%的热焓为13.3 kJ/kg。在绝对湿度未改变时,加热在湿空气图上为水平向右移,查得加热到45℃时,相对湿度为20%,其热焓为18.2 kJ/kg。烘干机的热风出口面积为0.1 m^2,热风的质量流率可以由热风出口口径、热风风速和空气的密度三者的乘积估算为0.52 kg/s。热风的温度为45℃,相对湿度为60%,经由湿空气图推得湿球温度近似31.5℃,热风在离开进蛋链条时,经由温湿度计测量温度为36℃,相对湿度为74%,推算干燥效率为67%,烘干机单位时间提供的热能计算得1.71 kJ/s。

经浙江方圆检测集团检测,本设计的自动涂膜设备主要性能指标如下:

(1)喷雾压力0.6 MPa;单位时间最大喷雾量100 mL/min;洁蛋输送线速度0~38.33 mm/s;洁蛋排数为4排;洁蛋间距50 mm;输送架宽度420 mm。

(2)烘干机干燥能力大于等于1.71 kJ/s,处理量大于等于80个/min,噪声小于等于85 dB(A)。

(3)采用单片机涂膜控制系统,在Visual Studio 2003中的Visual C++7.0开发环境下编写完成,可实现自动完成洁蛋输送、喷膜、烘干、冷却等工艺过程的控制。

(4)机器运转平稳,传动正常,运动机构动作准确、灵活、无卡阻现象;喷嘴雾流应均匀、连续,雾化良好;洁蛋涂膜均匀,无流动状涂膜液。

(5)在动力电路导线和保护电路之间施加直流电压500 V时,绝缘电阻大于等于1 MΩ;电气设备的电路导线和保护接地电路之间应经受50 Hz、1 000 V,至少1 s时间的耐压试验,无闪络和击穿现象;电气装置可能带电的金属件与接地端子间,应保持保护接地电路的连续性,其接地电阻小于等于0.1 Ω。

2 性能测试

试验使用120颗洁蛋,分为6组,每组20颗,洗蛋机电动机频率最慢为0 Hz,额定为50 Hz,通过更改频率可获得不同电动机转速,根据电动机频率由最慢至最高取6种不同电动机频率做试验,6组洁蛋试验时电动机频率分别为5、10、15、20、25、30 Hz。在每组试验之前,先测量进蛋链条线速度与计算处理量。测量进蛋链条的线速度时,将链条上的一点作上记号,测量这一点前进200 cm所需的时间以计算进蛋链条的行进速度,测量10次取平均。链条上两个凸点间可放置一颗洁蛋,两个凸点尖端间距为9 cm,则每小时处理量的计算方式为链条线速度乘上时间后除以两个凸点的距离即为每小时的处理量。不同电动机频率下进蛋链条的线速度、设备的处理量结果如表1所示,进蛋链条线速度在3.70~23.08 mm/s之间,推得每小时处理1 480~9 232颗

洁蛋。

表 1　不同频率下设备的线速度与处理量

Tab. 1　Line speed and machine capacity under different frequencies

电动机频率/Hz	线速度/mm·s^{-1}	处理量/颗·h^{-1}
5	3.70	1 480
10	7.65	3 060
15	12.01	4 804
20	15.63	6 252
25	20.11	8 044
30	23.08	9 232

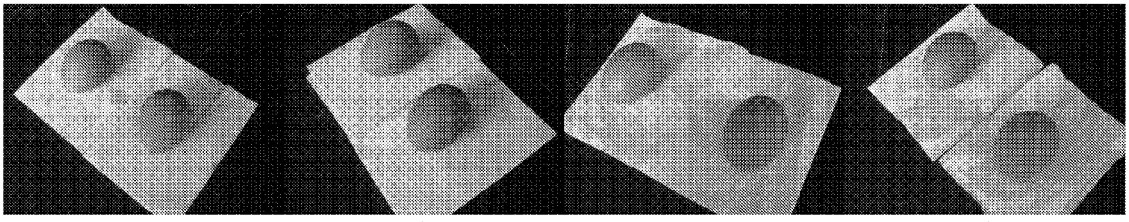
为便于直接肉眼观察蛋壳表面上色结果，以判断洁蛋涂膜的状况，使用 10% 的食用红色色素溶液替代涂膜液进行试验。在判断上涂膜完整性上，若涂膜后洁蛋每一部分均呈现红色而无白色状态，则视为洁蛋完整涂膜；若涂膜洁蛋有白色部分存在，则视为涂膜不完全。在判断蛋壳表面干燥程度上，洁蛋在离开涂膜设备而至分级设备时，立即观察蛋壳表面的干燥程度，分别使用肉眼直接观察与试验纸吸附蛋壳表面涂膜液的方法观察：肉眼观察为直接以肉眼判断蛋壳表面是否仍有未干的涂膜液残留，若有未干的涂膜液残留则视为蛋壳未能及时干燥，若没有未干的涂膜液残留则视为蛋壳已及时干燥；试验纸观察方法为使用试验纸包裹洁蛋后，观察是否有红色色素吸附在试验纸表面，若试验纸上有红色痕迹则视为蛋壳未能及时干燥，若试验纸上没有红色痕迹则视为蛋壳已及时干燥。

不同频率值下蛋壳表面干燥情况与涂膜状况整理如表 2 所示。由表可见，电动机频率 15 Hz 及以下，蛋壳表面均没有未干的涂膜液残留；电动机频率 20 Hz 时，洁蛋的尖端与钝端有未干的涂膜液残留，其余部分没有未干的涂膜液残留；电动机频率为 30 Hz以上时，整颗洁蛋均有未干燥的涂膜液残留。图 3 所示为电动机频率分别为 5、15、20、30 Hz 时的洁蛋表面涂膜液附着情况。

表 2　不同频率下其蛋壳表面干燥情况与涂膜完整情况

Tab. 2　Drying and coating conditions of egg shells under different frequencies

电动机频率/Hz	蛋壳表面干燥情况		涂膜完整情况
	肉眼观察	试验纸观测	
5	干燥程度良好	试验纸上没有红色痕迹	洁蛋每部分均有涂膜液，但尖端与钝端颜色较浅
10	干燥程度良好	试验纸上没有红色痕迹	洁蛋每部分均有涂膜液，但尖端与钝端颜色较浅
15	干燥程度良好	试验纸上没有红色痕迹	洁蛋每部分均有涂膜液，但尖端与钝端颜色较浅
20	尖端与钝端未完全干燥，其余部分干燥程度良好	除钝端与尖端外其余部分没有红色痕迹	洁蛋每部分均有涂膜液，但尖端与钝端颜色较浅，有少量未涂部分
25	尖端与钝端未完全干燥，其余部分干燥程度良好	试验纸上有少量红色痕迹	尖端与钝端有部分没有涂膜液
30	仍有少许涂膜液未干燥	试验纸上有明显红色痕迹	尖端与钝端有部分没有涂膜液



(a)　(b)　(c)　(d)

图 3　洁蛋表面附着涂膜液情况

Fig. 3　Coating liquid condition of egg shell

(a) 5 Hz　(b) 15 Hz　(c) 25 Hz　(d) 30 Hz

用试验纸包裹洁蛋观察是否有涂膜液吸附在试验纸表面的方法表明：在电动机频率 15 Hz 及以下时，试验纸上没有红色痕迹；在电动机频率 20 Hz 时，在洁蛋尖端与钝端稍有未干的涂膜液印在试验纸上；在电动机频率 30 Hz 及以上时，试验纸上有明显的红色痕迹。为此，本设备电动机频率只选 30 Hz 以下。

在固定喷嘴喷量、角度，以及固定干燥能力的情况下，能够使洁蛋完整涂膜与蛋壳表面干燥以及达到处理量要求时的电动机最大转速值，即为最佳转速。依据蛋壳表面干燥情况与涂膜状况的试验结果，在保证处理效率，温度为 25℃、相对湿度为 60%

(试验当日的温湿度)、喷嘴位于进蛋链条上方20 cm、两喷嘴间距10 cm、喷雾压力0.6 MPa、烘干机干燥能力1.71 kJ/s的情况下,设备的最佳转速为电动机频率为15 Hz时的转速,即进蛋链条线速度为12.01 mm/s。此时,处理量为4 804颗/h,烘干机长度50 cm,推得洁蛋干燥时间为4.16 s。若改变喷嘴的喷量或是角度,或是气候条件不同时,则最佳转速会不同。

3 结论

(1)研发的洁蛋保鲜高效自动涂膜设备,其功能为将洁蛋涂膜并进行烘干。喷嘴喷雾压力为0.6 MPa,单位时间喷雾量为43.6 mL/min,烘干机干燥能力为1.71 kJ/s,设备最佳转速为电动机频率15 Hz时转速,即进蛋链条线速度为12.01 mm/s,洁蛋处理量为4 804颗/h。

(2)采用单片机涂膜控制系统,可实现自动完成洁蛋输送、喷膜、烘干、冷却等工艺过程的控制。机器运转平稳,传动正常,运动机构动作准确、灵活、无卡阻现象;喷嘴雾流均匀、连续,雾化良好;洁蛋涂膜均匀,无流动状涂膜液。进行试验时,电动机不同的转速需通过手动调节电动机频率实现。

参 考 文 献

1 杨素芳,马美湖,钟凯民. 加速发展我国洁蛋生产与消费重要性及关键技术探讨[J]. 现代食品科技,2007,23(3):56~60.
Yang Sufang, Ma Meihu, Zhong Kaimin. The importance of key techniques of clean egg production and consumption in our country [J]. Modern Food Science & Technology, 2007, 23(3): 56~60. (in Chinese)

2 江应红. 国内外洁蛋生产装备概述[C]//第八届中国蛋品科技大会论文集,2009:495~499.
Jiang Yinghong. A summary of production equipment in worldwide [C]//Proceedings of the Conference of 8th Domestic Egg Products Science and Technology, 2009: 495~499. (in Chinese)

3 周兆忠,邓小雷. 洁蛋覆膜机:中国,200820166127.0[P]. 2009-09-30.
Zhou Zhaozhong, Deng Xiaolei. Clean egg coating machine: China, 200820166127.0[P]. 2009-09-30. (in Chinese)

4 陈立平,张云清,任卫群,等. 机械系统动力学分析及ADAMS应用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

5 李岳林. 工程热力学与传热学[M]. 北京:人民交通出版社,2007.

6 Cengiz C. The effect of edible egg shell coatings on egg quality and consumer perception [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005,85(11): 1 897~1 902.

7 左娟,马美湖. 洁蛋涂膜保鲜技术的研究进展[C]//第八届中国蛋品科技大会论文集,2009:71~82.
Zuo Juan, Ma Meihu. The research progress of coating cleaned eggs preservation technology [C]//Proceedings of the Conference of 8th Domestic Egg Products Science and Technology, 2009: 71~82. (in Chinese)

8 刘会珍. 鸡蛋涂膜保鲜工艺的实验研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
Liu Huizhen. The experimental study of egg coating and preservation process [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)

9 杨素芳,马美湖. 中国洁蛋生产与消费的重要性及关键加工技术[J]. 农业工程技术:农产品加工,2007(1):26~33.
Yang Sufang, Ma Meihu. The importance and key processing technology of Chinese clean egg production and consumption [J]. Agricultural Engineering Technology: the Agricultural Products Processing, 2007(1): 26~33. (in Chinese)

10 钱勇. 中国禽产品出口的绿色壁垒及解决之道[J]. 中国家禽,2006, 28(10):36~41.
Qian Yong. Green barriers and countermeasures on China poultry production for export [J]. China Poultry, 2006, 28(10): 36~41. (in Chinese)