

基于工作流网的转基因作物及产品全程溯源系统

李鑫星¹ 姚久彬¹ 许文涛² 付 骁¹ 焦伟华³ 张领先¹

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;
3. 山东财经大学农业与农村经济研究中心, 济南 250014)

摘要: 随着转基因作物不断开发和推广应用,更多的转基因食品被投放到市场,其安全性也越来越受关注。我国对转基因作物及产品的监管不容乐观,生产企业的组织化程度不高,照搬国外的溯源系统会造成其与企业生产过程管理结合不紧密等诸多问题。本文结合我国转基因食品企业现有的生产流程及实际情况,基于工作流网基础理论,以转基因玉米为例,通过分析转基因玉米及产品生产过程中影响其基因特性和质量安全的重要环节,构建出完善的转基因作物及产品全程溯源模型,在模型的指导下,设计开发了转基因作物及产品全程溯源系统,具有理论价值和实践意义。

关键词: 转基因作物; 工作流网; 溯源系统

中图分类号: S2; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0366-08

Full Traceability System for Transgenic Crops and Products
Based on Workflow Net

Li Xinxing¹ Yao Jiubin¹ Xu Wentao² Fu Xiao³ Jiao Weihua³ Zhang Lingxian¹

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
3. Center for Agricultural and Rural Economy, Shandong University of Finance and Economics, Ji'nan 250014, China)

Abstract: With the continuous development and application of transgenic crops, more and more transgenic foods were launched on the market, and people paid more and more attention to the safety of these foods. While China's regulation of transgenic crops and products is not optimistic, and the organization level of production enterprise is low, if the domestic enterprises copy the foreign traceability system, the problems of un-close integration in production process management will appeared. Thus, combining with the existing production flow and situations of China's transgenic crops enterprises and taking transgenic maize as example, a full traceability system model for transgenic crops and products was built based on the basic theory of workflow net, through the analysis of important steps which affect gene characteristics and quality security in genetically modified crops production process. Eventually, with the guidance of the model, a full traceability system model for transgenic crops and products was designed and developed, which showed great theoretical and practical significance.

Key words: transgenic crops; workflow net; traceability system

引言

近几年,转基因作物获得了迅猛发展,国际农业

生物技术应用服务组织 (ISAAA) 的数据表明,1996—2010 年的 15 a 间,全球转基因作物的种植面积增加了 87 倍,转基因作物累计种植面积超过

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-18
基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项(2014ZX0801202B)
作者简介: 李鑫星(1983—),男,副教授,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: lxxcau@cau.edu.cn
通信作者: 张领先(1970—),男,副教授,博士,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: zlx131@163.com

10 亿 hm^2 。中国作为世界第一的人口大国,耕地面积相对较小,有限耕地下的农产品产量与人民日益提高的需求矛盾凸显。在耕地不能扩大的基本国情下,还要保证提高粮食的产量,转基因食品提供了一种较好的解决方案^[1]。

然而,随着转基因作物的迅速发展,人们对其安全性的争论也越来越激烈^[2]。虽然学界对于转基因食品安全性的争论仍未停止,但国家法律已经允许许多转基因食品上架销售。消费者有选择是否购买的权利,但商家更有提供商品全部详细信息的义务,食品溯源技术正是保证消费者知情权最有效的手段。

我国现有食品溯源技术大多借鉴发达国家对食品管理的成功经验,加强了对食品质量安全的监控管理。但由于转基因作物及产品的生产有极大的特殊性,虽然在育种环节基本决定了产品的转基因性质,但在种植、加工、存储、运输等环节还可能出现“基因污染”,因此,转基因作物及产品的溯源需在原有研究的基础上,构建全程溯源体系。

本文以转基因玉米为例,结合我国转基因食品企业现有的生产流程,通过分析生产过程中影响其基因特性和质量安全的重要环节,基于 workflows 的理论原理,构建完善的转基因作物及产品全程溯源模型^[3-12],并在模型的指导下,设计开发转基因作物及产品全程溯源系统。

1 基因作物及产品全程溯源模型

1.1 转基因玉米及产品生产流程分析

通过对某转基因玉米及产品生产企业进行实际调研,着重了解转基因玉米的生产过程(图 1),为溯源模型的构建建立基础。

转基因玉米及产品生产流程主要包括育种、种植、产品 3 个环节。

(1) 育种环节。转基因玉米及产品的生产培育过程从育种开始,主要包括确定基因来源、明确转入基因和转入方式等内容,然后再选择合适的标准对种子进行检测,如符合转基因育种要求,就对种子编号并记录在案,准备进入种植环节(如企业也同时生产非转基因品种,育种环节直接采购非转基因种子即可)。

(2) 种植环节。种植环节除包括地块分配、计划种植、施肥管理、灌溉管理、病虫害防治等食品安全溯源常规流程外,特别要加入转基因检测环节,对成熟的玉米先进行基因检测,确保没有“基因污染”后才采摘入库。

(3) 产品环节。包括转基因玉米的入库、加工、

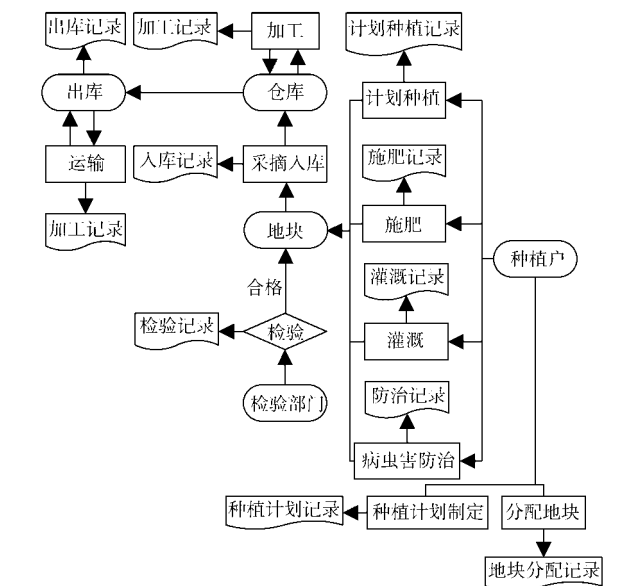


图 1 转基因玉米生产业务流程图

Fig. 1 Production flow chart of transgenic maize

出库、运输等流程。在保证质量安全的前提下,确保转基因玉米及产品在上述流程中没有出现影响转基因品系的情况。

1.2 转基因玉米及产品 workflows 模型

工作流技术能对实际业务流程进行抽象,描述业务流程间的依赖关系,最终通过分析这些关系来构造可实现自动管理模型^[13]。因此,本文选用 workflows 技术对转基因玉米及产品生产进行建模,分析现行的转基因玉米生产流程的不足之处,进而在优化流程的基础上建立完善的转基因作物及产品全程溯源模型,使其与企业生产流程结合更紧密的同时,加强对必需的重要环节进行监控。本文在生产流程分析、溯源模型构建时,将按照食品安全的最高级别——无公害食品施行。

工作流网是荷兰学者 AALST 在 Petri 网的基础上提出的,因为 Petri 网在处理各种控制结构(分布、并发、异步等)上具有优势,一方面可以用 Petri 网的图形化方式来描述工作流,另一方面其形式化分析技术可用于检查工作流的正确性,甚至可以进行分析^[14]。

经典 Petri 网是由 2 类节点——库所(place)和变迁(transition),以及一组弧线(arcs)组成的双向图。不同类型的节点之间用弧线直接相连,同类型节点间则不能直接相连。一般用圆圈表示库所,用矩形表示变迁。一个 Petri 网可由一个三元组 $(P, T; F)$ 表示。其中 P 表示有限数量的库所集合; T 表示有限数量的变迁集合,且 $P \cap T = \emptyset; F \subseteq C(P \times T) \cup (T \times P)$ 表示一组弧线(信息流动关系)。

Petri 网中,改变网络状态的活动组件——变迁的触发规则可归结为:

变迁 t 被使能: 变迁 t 的每个输入库所 P 中都至少含有一个托肯。

变迁 t 可触发: 如果一个变迁被触发, 则该变迁的每个输入库所中消耗一个托肯, 并在该变迁的每个输出库所中生成一个托肯。

一个 Petri 网 $PN = (P, T; F)$ 当且仅当满足以下 2 个条件时被称为 workflow 网:

(1) PN 中存在 2 个特殊的库所 i 和 o : 库所 i (源库所) 是输入库所, 即 $i \cdot = \emptyset$; 库所 o (漏库所) 是输出库所, 即 $o \circ = \emptyset$ 。

(2) 如果在 PN 的库所 o 和 i 之间增加一个变迁 t^* , 使得 t^* 连接库所 o 与 i , 即 $t^* \cdot = \{o\}, t^* \circ = \{i\}$, 则得到的扩展网 PN 为强连通。

这 2 个约束规定了 workflow 网必须具有一个起始库所和一个终止库所, 进入起始库所的托肯代表着一个过程实例的开始, 而到达终止库所的托肯则意味着一个过程的结束。所有的活动与条件都位于起始点到终止点的有向弧线上, 不存在处于孤立状态的活动和条件^[14]。

T 中的变迁代表业务流中的任务, 任务之间的依赖关系 F 通过库所的连接表示。2 个任务可能顺序执行, 可能在一个任务之后是几个任务并行, 也可能是从几个任务中选一个或多个执行。AALST 为这几种业务流共同的基本结构规定了特殊的符号^[15], 以简化图表示 (图 2)。

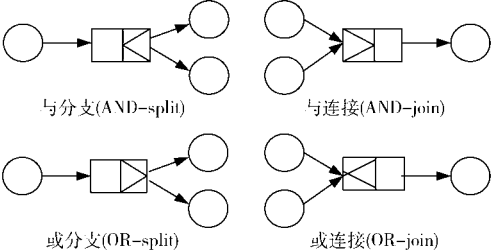


图 2 workflow 网基本结构

Fig. 2 Basic structure of workflow net

对实际系统进行建模时, Petri 网兼顾了严格语义与图形语言 2 方面。但一个活动网络图中的活动在 Petri 网中表示一般需要一个库所、一个变迁以及连接其间的一条连接弧, 这必然使模型变得复杂化。如果活动过多, 利用 Petri 网建立模型会导致状态爆炸的问题。而如能在 workflow 网的基础上引入对象技术及细化变迁则可实现流程的分层建模, 降低建模复杂度, 提高模型的可读性和重用性^[16]。

定义: $\sum (O, P, T, F, S, E)$, 其中 O 为对象集, 即 $O = (IM, OM, PN)$; 其中 IM 为对象库所输入消息库所, OM 为对象库所输出消息库所, 且 $IM \cap OM = \emptyset$, PN 代表对象内部的 Petri 网; $T = Ta \cup Tb$, 其中

Ta 是原子变迁集合, Tb 是子网变迁集合; F 为库所节点与变迁节点间的有向弧集合 (流关系); S 为开始库所且 $*S = \emptyset$, 有且只有一个开始库所; E 为结束库所且 $E^* = \emptyset$, 有且只有一个结束库所。且所有的库所与变迁都位于库所 S 到 E 的一条路径上。

引入对象技术后, workflow 网可分变迁的使能和变迁的实施 2 种状态。被使能的变迁要真正实施, 必须具备相应的触发机制。触发机制^[16]是使被使能的变迁进入实施状态的外部条件, 可以分为 4 种类型: 自动触发、人工触发、消息触发和时间触发 (图 3)。

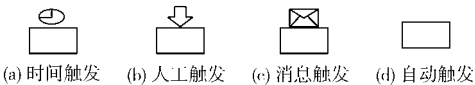


图 3 4 种触发机制

Fig. 3 Four kinds of trigger mechanism

根据本文转基因玉米生产过程的分析, 依据企业各个部门的管理设置, 将每个管理子网作为一个对象, 分别运用 workflow 网技术对其 workflow 建模, 然后进行整合得到现行的转基因玉米生产过程 workflow 网模型。由于转基因玉米生产过程涉及到 7 个部门, 也就是 7 个物理对象: 市场部、办公室、采购部、转基因玉米基地、技术部、包装部、财务部, 与之相对应的划分了 7 个对象子网系统, $O1$ 为市场部门的管理, $O2$ 为办公室管理子网, $O3$ 为采购部管理子网, $O4$ 为基地管理子网, $O5$ 为技术部管理子网, $O6$ 为包装管理子网, $O7$ 为财务等公司内部管理子网。

根据图 1 的描述将转基因玉米生产过程绘制成 workflow 网模型如图 4 所示。图中 $T1$ 表示市场部下订单; $T2$ 表示办公室汇总订单; $T3$ 表示转基因玉米种植; $T4$ 表示采购部初审转基因玉米原料; $T5$ 表示技术部对转基因玉米原料进行检验; $T6$ 表示转基因

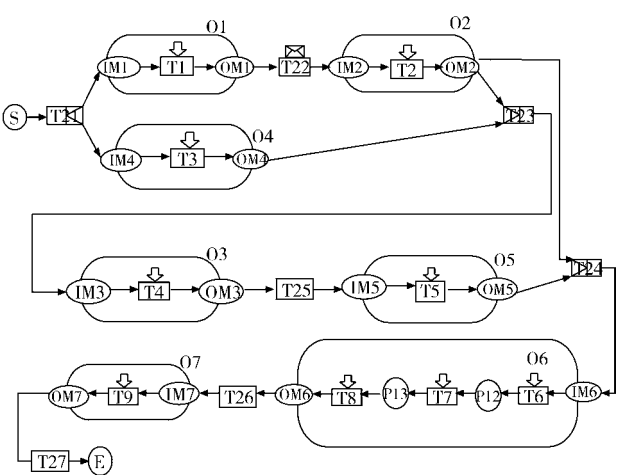


图 4 转基因玉米生产过程 workflow 网模型

Fig. 4 Workflow net model of transgenic maize

玉米入库;T7 表示转基因玉米包装;T8 表示转基因玉米出库;T9 表示财务部保存各种单据。

从图 4 的工作流网模型中可看出,现有的企业生产流程中对于转基因玉米种子来源和种植历史欠缺,O4 基地管理子网的管理水平不高,缺乏对转基因玉米详细种植管理。如果以此流程建立溯源系统,不能对必须的重要环节进行监控,也不能实现实时记录信息,达不到全程溯源的目的,因此需要对此生产流程进行深入分析,在优化生产流程基础上建立溯源模型。

1.3 基于工作流网的转基因玉米溯源模型

1.3.1 模型构建

由于对转基因玉米质量安全造成不良影响和导致“基因污染”的因素更多的来自种植环节,需要重点监控以下 3 方面因素:

(1)土壤监控。土壤环境是转基因玉米环境中最重要的一项,与转基因玉米质量安全有直接关联,必须进行监控;转基因玉米播种之前必须对土壤依照国家标准进行检测。

(2)日常管理监控。日常管理包括农户对转基因玉米进行的各项田间措施和加工包装管理,具体包括对播种、病虫害、灌溉、施肥等措施进行记录和实施审核,以及对工作人员的包装进行实时记录。这些措施在保证质量安全的前提下还可以有效避免“基因污染”。

(3)农药施用监控。农药的施用对转基因玉米的危害最为直接,在日常的生产管理中对农药的品种选择、用量、间隔期要进行严格监控,并且对转基因玉米要进行农药残留检测。

为加强对转基因玉米种植阶段的管理,将转基因玉米基地管理由采购部来监控及实行审批制度,尤其加强对农药等的监督管理以及种植之前对土壤环境检测合格之后才能批准进行播种等,通过将转基因玉米生产工作流网模型进行优化,最终构建出转基因玉米质量安全溯源模型(图 5)。

图 5 相对于图 4 来说,对 O2 办公室管理子网、O3 采购部管理子网、O4 基地管理子网做了调整:

(1)有效结合 O3 与 O4,构成循环组件,加强采购部对转基因玉米基地的管理。由于转基因玉米基地种植人员一般文化程度不高,对于转基因玉米种子来源和种植历史的记录就由其上一级的管理部门采购部来监督和实行;T4 代表采购部对转基因玉米种子的初审,还包括对转基因玉米从种子的育种或采购、播种一直到收获的管理。同时,利用循环组件的方式,转基因玉米每一项种植措施都要经过采购部管理人员批准后才能实施,既能对每项种植措施

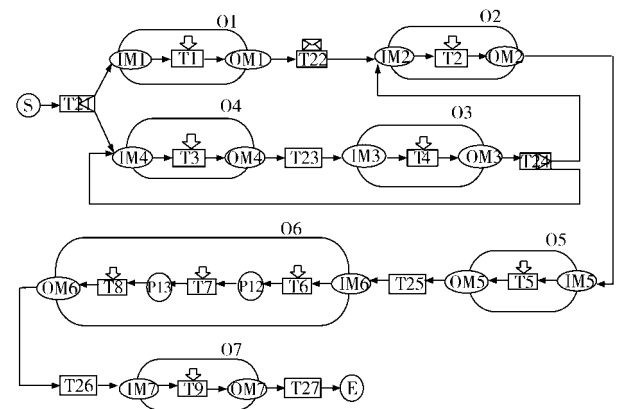


图 5 基于工作流网的转基因玉米溯源模型
Fig. 5 Traceability model of transgenic maize based on workflow net

进行记录,为可追溯奠定基础,又能减少种植中的违规操作,保证转基因玉米种植的质量安全。

(2)O2 中 T2 办公室对订单的接收时,会考虑到由采购部传来的转基因玉米收获情况。根据实际收获情况对比市场部的订单做出的订单汇总与实际情况误差不大,更符合生产实际。同时,也合理安排供应量,减少转基因玉米及产品库存,间接保证了转基因玉米及产品的新鲜度和质量安全。总体来看,基于工作流网的转基因玉米及产品全程溯源模型在不改变企业原有生产流程的基础上增加了对转基因玉米基地的管理和监控,达到了溯源的基本要求。

1.3.2 模型验证

由于转基因玉米及产品模型引入了对象技术,每个对象均可看作一个 Petri 网。因此,可以将模型的验证过程分为 2 个步骤:首先对各对象内部的 Petri 网进行化简后整合,即将全网转换为经典的 Petri 网,然后将化简后的 Petri 网绘制可达树进行进一步的验证。

(1)对各个子网进行化简,先将与工作流环境紧密相关的触发机制和工作流路由去掉。对于触发机制来说只是简单地忽略掉就可以了,而对于工作流路由的处理要复杂一些,需要把 OR-split、OR-join、AND-split、AND-join 这样的工作流元组件还原成经典 Petri 网中普通的库所和变迁,这样新生成的模型中不再有专门的控制变迁。如 O3 与 O4 子网还原成经典 Petri 网,如图 6 所示。

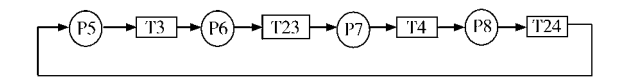


图 6 部分子网初步转换得到的经典 Petri 网
Fig. 6 Classical Petri net after subnet preliminary transformed

根据化简规则将经典的 Petri 网化简后结果如图 7 所示。

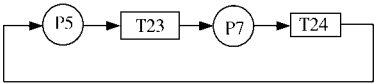


图7 部分子网化简后的 Petri 网

Fig.7 Petri net after subnet transformed

依照以上的思路和方法,分别对其他 5 个子网进行化简,整合得到转基因玉米可追溯模型的经典 Petri 网(图 8)。

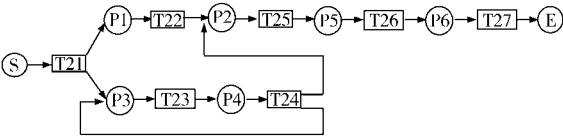


图8 转基因玉米溯源工作流网化简图

Fig.8 Diagram of traceability workflow net for transgenic maize

(2)可达树验证。根据 Petri 网验证合理性的方法,建立可达树如图 9 所示。

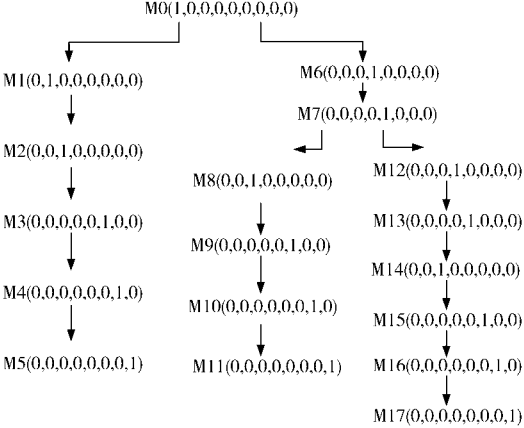


图9 转基因玉米溯源工作流的可达树

Fig.9 Reachability tree of workflow net for transgenic maize

由图 9 可以得出结论:该 Petri 网中不存在死锁,因为所有的变迁均出现在可达树中;该网有界,而且是安全的,因为位置标识中,只包含 0 和 1 两类元素;该 Petri 网能正常结束,而且在结束状态只在 E 库所中有托肯。因此,本文构建的基于工作流网的转基因作物及产品全程溯源模型能够正确运行,是合理的。

2 系统实现

基于以上构建的全程溯源模型,选取 B/S 系统架构,选用 Visual Studio 2010、SQL Server 2005、Firefox 浏览器作为开发工具,并在 Windows Server 2003、Framework 2.0、IIS 6.0 环境下开发和测试。微软系列的环境和数据库工具可以很好地与开发语言结合,使 J2EE 的运行效率和稳定性达到最高水平。使用 Firefox 浏览器可以更好地进行系统前端界面的开发和调试。

当以系统管理员身份登录系统后(图 10),即进入系统主界面。



图10 系统登录界面

Fig.10 System login interface

点击左侧的种子管理,则进入育种环节,如进行转基因育种,则选取此选项卡并根据专业的检测结果录入数据(图 11)。



图11 育种管理界面

Fig.11 Breeding management interface

完成育种信息录入后,点击左侧的种植管理则进入种植环节。然后可根据生产的实际情况,依次录入地块分配、施肥、灌溉和病虫害防治等内容(图 12、13),特别是在本环节还将完成基因检测的工作(图 14)。

进入产品阶段管理界面,则主要是完成入库、加工、出库、运输等工作(图 15、16)。

系统最终根据 3 个环节的信息录入情况生成用

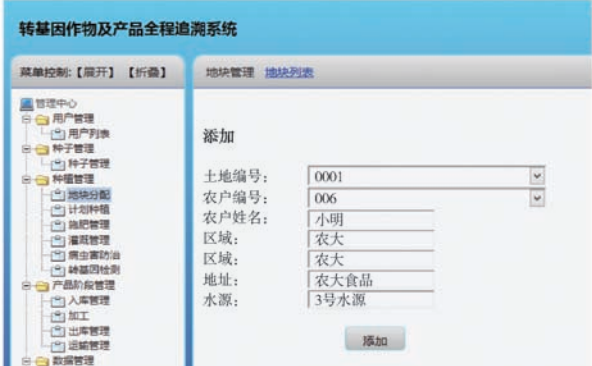


图12 地块分配界面

Fig.12 Land allocation interface



图 13 施肥管理界面

Fig. 13 Application management interface



图 16 运输管理界面

Fig. 16 Transportation management interface



图 14 转基因检测界面

Fig. 14 Detection interface of transgenic crops



图 17 二维码生成界面

Fig. 17 QR code generated interface



图 15 加工管理界面

Fig. 15 Processing management interface

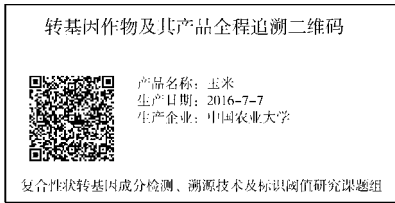


图 18 二维码标签

Fig. 18 QR code label

于追溯的手机二维码标签(图 17)。企业用户可根据实际需求,将二维码标签单独打印并贴敷于产品表面(图 18),或直接将二维码打印到产品的外包装上(图 19)。

需要指出的是,受限于现有技术条件,本系统基本采用手动录入的方式输入溯源信息,但并非所有企业员工都有权输入,只有拥有最高管理员权限的

用户才允许向系统添加内容,否则只能浏览信息;而且录入内容需要根据专业的检测结果,并在第三方的监管下完成。因此,本系统的最终上线还需要建立起像发达国家一样的整套溯源体系的监督监管机制。

3 系统测试

在系统运行环境下利用 LoadRunner 9.5、WebService 协议、虚拟用户(Virtual users)来模拟实际用户对系统施加压力。其测试原理如图 20 所示。

利用 LoadRunner 进行 200 个用户场景模拟测试,得到性能测试结果的摘要信息,如图 21 所示。

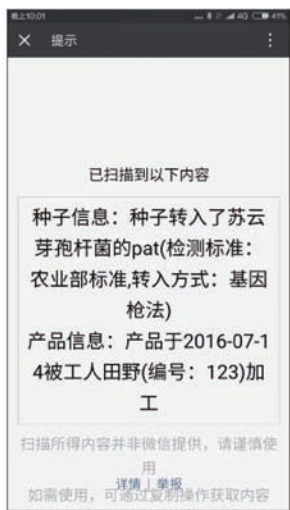


图 19 手机读取二维码界面

Fig. 19 Using mobile phones to read QR code screenshots

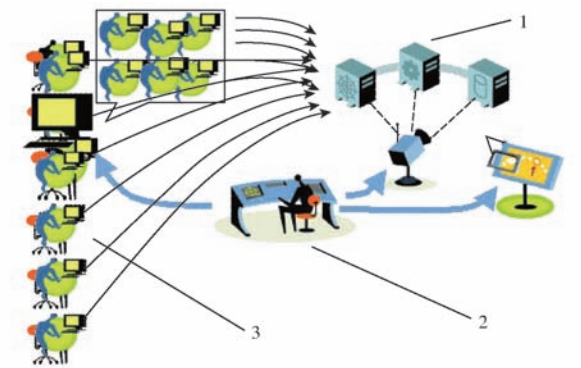


图 20 LoadRunner 测试原理模拟图

Fig. 20 Simulation diagram of LoadRunner test principle

1. 业务系统 2. 控制器 3. 虚拟用户

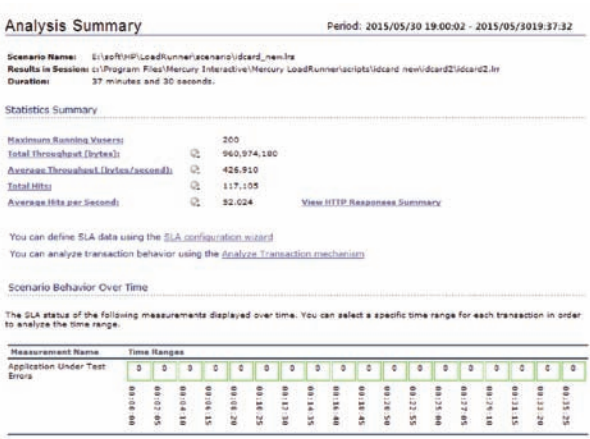


图 21 性能测试结果摘要图

Fig. 21 Analysis summary figure of performance test results

统计结果 (Statistics summary) 部分给出了场景执行结束后并发数、总吞吐量、平均每秒吞吐量、总

请求数、平均每秒请求数的统计值,如图 22 所示。从图得知,本次测试运行的最大并发数为 200,总吞吐量为 960 974 180 字节,平均每秒的吞吐量为 426 910 字节,总的请求数为 117 105,平均每秒的请求数为 52. 024。



图 22 统计信息摘要图

Fig. 22 Statistics summary figure

运行并发数 (Running vusers) 显示了在场景执行过程中并发数的执行情况。它们显示 Vuser 的状态、完成脚本的 Vuser 的数量以及集合统计信息,将这些图与事务图结合使用可以确定 Vuser 的数量对事务响应时间产生的影响。图 23 可以说明本次测试运行并发数与集合点是一致的,说明整个场景执行过程中,并发数用户的执行正确,系统测试服务器能够应付 200 个并发用户的业务操作。

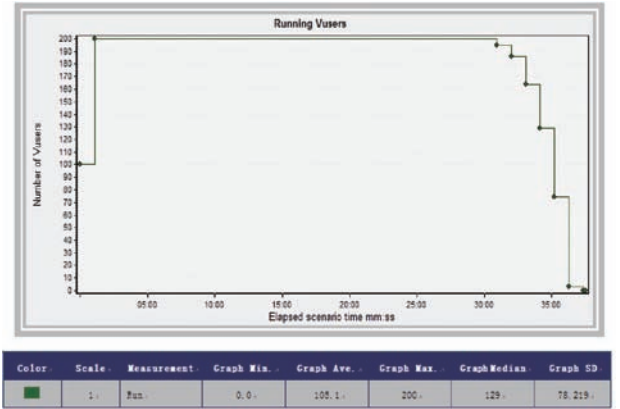


图 23 运行并发数图

Fig. 23 Running vusers figure

4 结论

(1)以转基因玉米为例,通过工作流网技术对转基因玉米及产品生产进行建模,分析现行的转基因玉米生产流程的不足之处,对工作流网模型进行优化,构建了转基因作物及产品全程溯源模型。

(2)基于全程溯源模型,完成了转基因作物及其产品全程溯源系统的开发和调试,实现了对转基因作物及产品的全程追溯。

参 考 文 献

1 李建平,肖琴,周振亚,等. 转基因作物产业化现状及我国的发展策略[J]. 农业经济问题,2012(1): 23 – 28.
2 武小霞,张彬彬,王志坤,等. 转基因作物的生物安全性管理及安全评价[J]. 作物杂志,2010(4): 1 – 4.
WU Xiaoxia, ZHANG Binbin, WANG Zhikun, et al. Safety management and assessment of genetically modified organisms[J].

- Crops, 2010(4): 1–4. (in Chinese)
- 3 赵春明. 农产品质量安全含义探析[J]. 农产品加工, 2005(1): 26–27.
- 4 CHANG, LOUIS W. Toxicology of metals[M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996.
- 5 LOVLEY D R. Environmental microbe-metal interactions[M]. Washington DC: ASM Press, 2000.
- 6 SILVIA Díaz, ANA Martín-González, JUAN Carlos Gutiérrez. Evaluation of heavy metal acute toxicity and bioaccumulation in soil ciliated protozoa[J]. Environment International, 2006, 32(6): 711–717.
- 7 ROSSINI OLIVA S, FERNÁNDEZ ESPINOSA A J. Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources[J]. Microchemical Journal, 2007, 86(1): 131–139.
- 8 申广荣, 黄丹枫. 基于 HACCP 的出口蔬菜安全生产智能决策支持系统研究[J]. 农业网络信息, 2005(11): 18–20.
SHEN Guangrong, HUANG Danfeng. Intelligent decision support system of export vegetable safety production based on HACCP [J]. Agriculture Network Information, 2005(11): 18–20. (in Chinese)
- 9 PETER Loos. Gozinto graphs for by-products and cyclic production: an approach for ERP system application[C] // 7th Americas Conference on Information Systems, 2001: 111–1117.
- 10 VAN DORP C A. A traceability application based on Gozinto graphs[C] // EFITA 2003 Conference, 2003: 280–285.
- 11 VAN DORP C A. Induction of a reference data model for tracking and tracing[C] // 8th Americas Conference on Information Systems, 2002: 945–957.
- 12 MASSIMO Bertolini, MAURIZIO Bevilacqua, ROBERTO Massini. FMECA approach to product traceability in the food industry [J]. Food Control, 2006, 17(2): 137–145.
- 13 李丹. 基于 SD 模型的汾河灌区水资源合理配置预测研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- 14 VAN DER AALST W M P. The application if Petri nets to workflow management[J]. Journal of Circuits, Systems and Computer, 1998, 8(1): 21–66.
- 15 VAN DER AALST W M P, VAN HEE K. 工作流管理——模型、方法和系统[M]. 王建民, 闻立杰, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 16 宋贤钧, 王炳鹏, 郭佳计. 基于 WF-net 的工作流建模技术及应用[J]. 计算机科学, 2006, 33(4): 134–136.
SONG Xianjun, WANG Bingpeng, GUO Jiaji. Workflow modeling technology and application based on WF-net[J]. Computer Science, 2006, 33(4): 134–136. (in Chinese)
- ~~~~~

(上接第 365 页)

- 9 ZHAO D D, ZHAO C P, TAO H Y, et al. The effect of osmosis pre-treatment on hot-air drying and microwave drying characteristics of chilli (*Capsicum annuum* L.) flesh[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2013, 48: 1589–1595.
- 10 CORZO O, BRACHO N, PEREIRA A, et al. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices[J]. LWT—Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2023–2028.
- 11 ZHANG F, DONG P, FENG L, et al. Textural changes of yellow peach in pouches processed by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(8): 3170–3180.
- 12 丁胜华. 生长成熟与干制对枣果品质特性及其果胶多糖的形成规律研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
DING S H. Effects of growth stages and dehydration on the metabolic rules of physico-chemical properties and pectic polysaccharides in jujube fruits[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 13 ALJADI A M, KAMARUDDIN M Y. Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys [J]. Food Chemistry, 2004, 85(4): 513–518.
- 14 NESLIHAN C, HEPBASLI A. A review of heat pump drying: Part 1- Systems, models and studies [J]. Energy Conversion and Management, 2009, 50(9): 2180–2186.
- 15 BANTLE M, KOLASAKER K, EIKEVIK T M. Modification of the Weibull distribution for modeling atmospheric freezedrying of food[J]. Drying Technology, 2011, 29(10): 1161–1169.