

# 现代道地中药材生产工程模式构建及评价

孙君社<sup>1</sup>, 郑志安<sup>2</sup>, 王民敬<sup>1</sup>, 张秀清<sup>3</sup>, 罗江清<sup>4</sup>, 郭爱玲<sup>4</sup>

(1. 农业部规划设计研究院, 北京, 100125; 2. 中国农业大学工学院, 北京, 100083;  
3. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京, 100083; 4. 天方健(中国)药业有限公司, 广州, 510623)

**摘要:** 中国中药材生产标准缺乏、管理不完善、质量安全问题突出, 通过构建科学、系统的中药材生产工程模式来指导中药材产业发展、确保产品质量安全意义重大。该研究涉及中药材生产环节, 包括育种、种植、采收加工、储藏等环节, 从传统道地中药材“三因子”(生物因子、环境因子、人为因子), 提出现代道地中药材六属性假说(即生物自然属性、生态环境属性、加工储藏属性、品性商品属性、质量安全属性、种植管理属性)。在此基础上, 利用系统学的理论、工具和方法, 获得在构建生产标准、种植管理、质量安全3个体系的基础上耦合形成现代道地中药材生产工程模式的构建打下方法论的基础。按照科学性、简明性等原则, 结合专家咨询法构建了3个层次、19个指标的评价指标体系, 利用层次分析法确定了指标权重, 利用模糊综合评价方法对段木赤灵芝生产进行实证, 结果为0.71, 良好, 与生产实际一致。该研究不仅对中药材生产具有较高借鉴价值, 也为现代农业生产工程模式研究提供理论支撑。

**关键词:** 生产工程; 标准化; 农业; 中药材; 模式; 评价

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.041

中图分类号: S567

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-17-0308-07

孙君社, 郑志安, 王民敬, 张秀清, 罗江清, 郭爱玲. 现代道地中药材生产工程模式构建及评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 308—314. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.041 <http://www.tcsae.org>

Sun Junshe, Zheng Zhian, Wang Minjing, Zhang Xiuqing, Luo Jiangqing, Guo Ailing. Construction and evaluation of production engineering mode for modern genuine traditional Chinese medicinal material[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(17): 308—314. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.041 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

中药材是中医药事业传承和发展的物质基础, 是关系国计民生的战略性资源<sup>[1]</sup>。目前中国虽是中药材生产大国, 但却不是中药产业强国, 究其原因, 主要是中药材种植标准缺乏、管理不完善、质量安全监控难, 如何确保中药材“安全有效、质量可控”是一个迫切需要系统研究的课题<sup>[2-3]</sup>。

中国中药材标准体系主要集中在产地环境(土壤、水、大气)、产品质量及其检验环节上<sup>[4]</sup>, 全面性、系统性不足。另外中药材实际生产中以经验为主导、结果为导向, 存在有标不依、随意处置的现象, 另一方面企业缺乏结合实践提升和细化标准、并进而形成企业标准的动力和能力。近年来, 中药材生产质量管理规范(good agricultural practice, GAP)<sup>[5]</sup>、危害分析与关键控制点(hazard analysis critical control point, HACCP)<sup>[6]</sup>等在中药材生产中应用, 为中药材规范化和标准化生产提供借鉴。

中国中药材生产质量安全评价主要是结果检验, 还未实现生产过程控制<sup>[7-9]</sup>。中药材生产质量安全研究主要

集中在重金属(砷、汞、铅和镉)、农药残留(六六六、滴滴涕、五氯硝基苯等有机氯农药)等方面<sup>[4]</sup>, 目前中国尚缺乏常用中药中有害物质残留的检测技术规范、限量标准及相关的数据库, 还没有全面地对可能的污染来源进行分析和监控<sup>[10]</sup>。中药材质量安全风险评价研究, 主要集中在产地环境评价, 内梅罗污染综合指数法应用普遍, 另有与模糊数学和污染指数法相结合应用于土壤重金属污染评价的方法<sup>[11-12]</sup>。

中国中药材生产以小农户生产为主, 由于合作社缺位, 企业与种植户之间缺乏有效的连接主体, 企业直接管理种植户成本高, 为种植户提供服务的组织形式松散, 导致服务缺体系、管理缺机制、投资缺动力, 缺乏抵御市场风险的能力, 因此迫切需要通过管理创新来规避这种市场风险<sup>[2-3]</sup>。

目前的研究系统性不够, 本文试图以系统工程<sup>[13-15]</sup>视角, 参照建筑施工行业、农业工程等领域<sup>[16-21]</sup>的理论和实践, 构建生产标准体系、种植管理体系、质量安全体系三位一体的现代道地中药材生产工程模式, 并利用模糊综合评价方法对模式进行评价, 以期在现代道地中药材乃至现代农业产业模式发展做出积极探索。

## 1 现代道地中药材六属性假说

随着经济社会发展, 在传统道地中药材生产三因子(生物因子、环境因子、人为因子)<sup>[22]</sup>基础上, 笔者提出了现代道地中药材种植生产六属性假说<sup>[22]</sup>, 即生物自然

收稿日期: 2015-05-15 修订日期: 2015-08-05

基金项目: 无限极(中国)有限公司技改项目

作者简介: 孙君社, 男(汉族), 院副总工程师、研究员, 博士生导师, 主要从事食品及农产品加工、农业产业化研究。北京 农业部规划设计研究院, 100125。Email: sunjsh61@126.com

属性、生态环境属性、加工储藏属性、品味商品属性、质量安全属性、种植管理属性。道地药材三因子是基础，道地药材六属性是三因子的延伸和拓展，注入了现代管理和质量安全过程控制，是时代发展的产物。

### 1) 生物自然属性

药材本身的品种、基因等生物学因子。优良品种是形成道地药材的内在因素，它决定了药材中有效成分合成途径和通量。

### 2) 生态环境属性

土壤和基质及光、温湿等环境生态学因子。有学者指出，生态地理环境因素是影响药材“道地”性的最关键因素，水分、温度、光照、土壤成分是直接影响因子，地形、成土是间接影响因子。

### 3) 加工储藏属性

药材采前收后及加工炮制、储藏因子。产地加工炮制技术也是道地药材形成的人为因素之一。产地加工炮制过程中发生的物理化学反应，使中药的成分产生质或量的改变，这些改变反映到药理作用上对临床疗效有不同程度的影响。

### 4) 品性商品属性

四性五味型及以中医药理论指导的商品因子。包括成分、品味、药效等。其中，药效是鉴定和评价药材品质的最高和最终标准。

### 5) 种植管理属性

药材生产组织管理及创新因素。包括五统一和四创新。五统一，即实行统一品种，统一生产资料，统一田间管理、统一技术服务，统一产品收购、加工和销售。四创新，即流程创新、组织创新、科技创新和机制创新。

### 6) 质量安全属性

药材质量安全及其管控因素。在道地药材种植生产中强调过程控制理念，以药材生产标准和种植管理为基础，在整个生产过程中筛选对质量安全影响显著的指标。对质量安全指标进行评价，实现产前预评估、产中过程监控、产后综合评估。

## 2 现代道地中药材生产工程模式构建

在现代道地中药材生产六属性的基础上，分别构建生产标准体系、种植管理体系和质量安全体系，进而耦合形成三位一体的现代道地中药材生产工程模式，指导行业发展。

### 2.1 生产标准体系构建

生产标准体系是中药材生产工程模式的基础。体系构建从系统角度，遵从中药材生产实际，以中药材“四属性”（生物自然、生态环境、加工储藏、品味商品）为准则，从种质、生产资料、生态环境、种植过程到产地采收加工储藏等环节系统梳理现行中药材种植流程，通过过程分析、关键点分析、关键因素分析，挖掘经验标准，科学发现中药材生产标准存在的问题；通过中药材生长规律、代谢规律、转移规律、积累规律等的把握，结合经验标准，建立中药材生产标准指标，在生产实践中检验标准的适应性（经济性、可操作性、协调性等），

确定各环节上的质与量，弄清这些质、量之间的因果联系，分门别类而又相互嵌套，各有侧重又不能重叠地反映中药材生产实质，逐步产生和完善各个环节标准，再达到模式层面上的标准，构建的中药材生产标准体系<sup>[23]</sup>，见图 1。

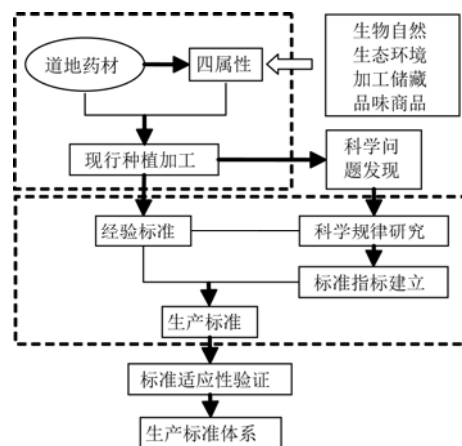


图 1 道地中药材生产标准体系构建技术路线图

Fig.1 Technology roadmap of standard system for modern genuine traditional Chinese medicinal material

中药材生产标准体系是一项复杂的系统工程<sup>[24]</sup>，在前期研究的基础上，采用多学科理论和技术，利用现代分析技术手段，建立既达到国际标准，又符合中药材生产实际，具有中药材自身特色的生产标准体系，确保中药材的科学化、规范化种植。

### 2.2 种植管理体系构建

种植管理体系是指中药材生产组织管理及创新因素。中药材种植三大主体：种植户、合作社、公司。标准的实施需要经营主体的执行，通过四创新、五统一去落实标准，关键要明确三大经营主体的责任和义务，形成风险共担、利益共享的共同体。见图 2。

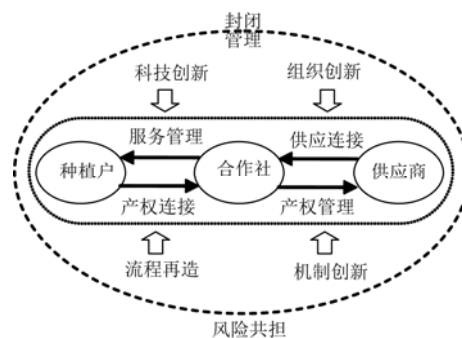


图 2 种植管理体系构建技术路线图

Fig.2 Technology roadmap of planting management system

四创新，即流程创新、组织创新、科技创新和机制创新。五统一，即实行统一品种、统一生产资料、统一田间管理、统一技术服务、统一产品收购、加工和销售。四创新实现双轮驱动，螺旋上升的效果，逐步提升产业水平，结合五统一，最终构建出种植管理模式<sup>[2-3]</sup>。

种植管理体系的构建核心是理顺种植户、合作社、

供应商三大经营主体的关系,建立紧密连接的共同体。

### 2.3 质量安全体系构建

质量安全体系是指中药材质量安全及其管控因素。该模式强调过程控制,以优质道地中药材产品为目标,系统把握标准集成过程中重点、难点、瓶颈环节的标准指标,考察规范运营管理过程中标准执行有难度和有风险的环节,筛选对质量安全影响显著的指标作为质量安全指标。显著指标的筛选以关键性、关联性、系统性为原则手段,体现少指标、多信息,以降低质量安全控制成本。对质量安全指标进行评价,实现产前、中、后过程监控。见图3。

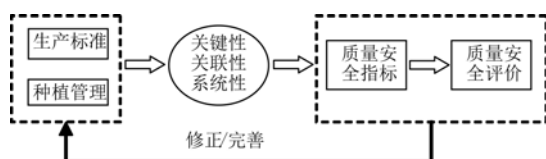


图3 质量安全体系构建技术路线图

Fig.3 Technology roadmap of quality and safety system

中药材质量安全体系构建基础是中药材生产标准模式和种植管理模式,该模式构建的关键是确定中药材生产关键控制点、筛选质量安全指标,建立产前、产中、产后的过程监控体系。

#### 1) 关键控制点确定

中药材质量安全关键控制点包括种质、生态环境(土壤、水、环境等)、关键生长期、产地加工(采收前后预处理、炮制加工、储藏)等。

#### 2) 指标筛选原则

质量安全指标的筛选按照关键性、关联性、系统性原则。质量安全指标,是指生产标准基础上,在整个生产过程中对质量安全影响显著的指标。显著:关键性、关联性、系统性。关键指标,是指生产标准指标在生产过程中对质量安全影响显著关键控制点的指标;关联指标,在关键控制点内或之间可以替代或融合的指标;系统指标,关键控制点间具有内在连续性指标。

#### 3) 指标筛选步骤

以中药材生产标准模式和种植管理模式为基础,通过一线实践经验总结、试验研究和专家咨询等手段,确定关键控制点,是关键控制点的指标即为关键指标,反之删除;对关键控制点指标(即关键指标)进行关联分析,确定关联指标,与不具关联性的指标一起进行内在连续性分析,确定系统指标,反之删除;对系统指标进行关联分析,进一步减少指标,确定产前、产中、产后质量安全控制指标,实现少指标、多信息的目标。

#### 4) 质量安全评价方法

对于质量安全指标预置区间的确定,可参考有机、绿色、无公害农产品分级标准,借鉴土壤分级标准方法<sup>[25]</sup>(内梅罗综合指数法,对于指标较多,参考改进层次分析法,确定各指标权重,尽量客观评价综合污染情况)。质量安全指标分为严控指标和一般控制指标。严控指标

有1项超标即视为不合格,即某级不及格时下降至一级。一般控制指标若有1项或多项超标,则要求该要素的综合质量安全指数小于1。应用一般质量安全指数法进行单项质量安全指数计算。对严控指标,当单项物质超标即视为不符合该级。严控指标未超标,而一般控制指标有超标时计算综合质量指数。在单项指数评价基础上采用内梅罗指数法评价各指标的综合质量安全水平。

### 2.4 三位一体中药材生产工程模式

在中药材生产标准体系、种植管理体系和质量安全体系的基础上,耦合形成现代道地中药材生产工程模式。该模式不仅包含了各子系统的本身特性,也包括各要素的行为倾向,其耦合关键在于各子系统要素的选择及相互作用过程,生产标准模式、种植管理模式和质量安全模式的确定既是相互独立,又是密不可分、相互作用的过程。

现代道地中药材工程模式的首要目标是生产道地中药材,其次所构建的模式要持续稳定运行并能获得一定的经济利益。现代道地中药材生产工程模式涉及标准、组织管理方式和质量安全控制等多种要素,因此,完整的现代道地中药材生产工程模式应该包含标准、管理、质量安全3种模式,通过道地药材三因子(生物、环境、人为)转化为生产过程四属性(生物自然、生态环境、加工储藏、品性商品)输出生产标准体系;在生产标准实施过程中,基于四创新、五统一建立种植管理体系指导标准实施;在生产标准和种植管理基础上,系统把握标准集成过程中重点、难点、瓶颈环节的标准指标,考察规范运营管理过程中标准执行有难度和风险的环节,筛选对质量安全影响显著的指标,建立质量安全体系,实现过程监控;三个体系的构建以各自方法论为指导,最终构建三位一体的道地中药材生产工程模式,见图4。

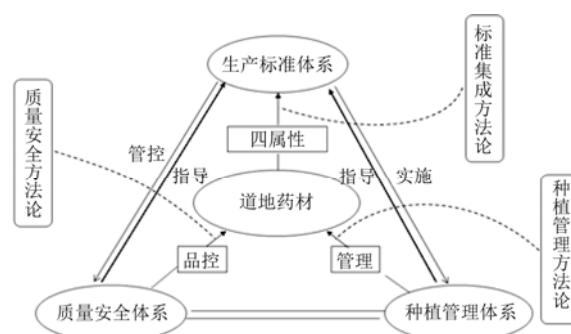


图4 中药材生产工程技术路线图

Fig.4 Technology roadmap of production engineering for Chinese herbal medicine

## 3 现代道地中药材生产工程模式评价

现代道地中药材生产工程模式的选择是一个决策过程,本研究所涉及的模式作为一个开放的复杂巨系统,系统状态最优的目标只能分阶段实现<sup>[26]</sup>,难以一步到位,客观上要求在模式的应用中应对不同层次的模式进行多次评价和反馈,因此必须建立模式的评价体系来检验模

式的效果、促进模式的完善与发展。由于模式的层次与复杂程度的不同，评价内容和方法也各有侧重。在评价方法上体现定量与定性相结合的原则，在指标的設置上体现全面、客观、易用、可比的原则。中药材生产标准和种植管理以经验为主，经验量化工作处于起步阶段，本文评价方法采用模糊综合评价<sup>[27]</sup>。

3.1 指标体系建立

现代道地中药材生产工程模式评价以模式的实现度为目标，找出影响模式实现度的主要因素，从中再筛选出主要指标。在正确认识现代道地中药材生产工程模式的原理、结构和特点的基础上，系统分析影响模式的主要影响因素，选择合理的评价指标，确保评价的顺利进行。基于现代道地中药材六属性及专家咨询方法构建现代道地中药材工程模式实现度指标体系，包括 3 个准则层 19 个指标层。见表 1。

表 1 现代道地中药材生产工程模式实现度指标体系  
Table 1 Index system of reality degree for modern production engineering model of authentic Chinese herbal medicine

目标层 Goal layer	准则层 Criteria layer	指标层 Index layer
现代道地 中药材生 产工程模 式实现度 A	生产标准体系 实现度 B <sub>1</sub>	生物自然 C <sub>1</sub>
		种质标准 d <sub>1</sub>
		土壤标准 d <sub>2</sub>
		水标准 d <sub>3</sub>
		空气标准 d <sub>4</sub>
		温湿度标准 d <sub>5</sub>
		采收预处理标准 d <sub>6</sub>
		采后初加工标准 d <sub>7</sub>
		储藏标准 d <sub>8</sub>
		成分标准 d <sub>9</sub>
		品味标准 d <sub>10</sub>
		药效标准 d <sub>11</sub>
	种植管理体系 实现度 B <sub>2</sub>	种植管理 C <sub>5</sub>
		五统一程度 d <sub>12</sub>
		四创新程度 d <sub>13</sub>
	质量安全体系 实现度 B <sub>3</sub>	种质质量安全 d <sub>14</sub>
		原料质量安全 d <sub>15</sub>
		生态环境质量安全 d <sub>16</sub>
		加工储藏质量安全 d <sub>17</sub>
		品性商品质量安全 d <sub>18</sub>
		种植管理质量安全 d <sub>19</sub>

指标解释（以段木赤灵芝为例）：

- 1) 生物自然指标。以种质标准来衡量，包括分类地位、形态水平、分子水平和蛋白水平等。
- 2) 生态环境指标。以土壤、水、空气、温湿度衡量。其中，土壤标准包括土壤性质、pH 值、容重、有机质、微量元素、重金属等；水标准包括 pH 值、电导率、微量元素、重金属等。
- 3) 加工储藏指标。采收预处理指标包括功效成分（多糖）含量变化；初加工指标包括功效成分（多糖）、重金属等指标；储藏指标包括主要致腐菌等指标。
- 4) 品性商品指标。包括成分（多糖）、品味、药效等指标。
- 5) 种植管理指标。用五统一和四创新来衡量。五统

一，即实行统一品种，统一生产资料，统一田间管理、统一技术服务，统一产品收购、加工和销售。四创新，即流程创新、组织创新、科技创新和机制创新。

6) 质量安全指标。包括种质（菌种相似度）、原料（段木有效成分、重金属等指标）、生态环境（土壤、水等重金属、农残等指标）、产地加工（有效成分、重金属、农残等指标）、品性商品（有效成分、重金属、农残等指标）、种植管理等质量安全。

3.2 多层次模糊综合评价

1) 评价层次结构

本研究遵循科学性、综合性、代表性、可度量性以及可操作性的原则，筛选了模式评价指标体系中关键因子，确立如下的评价层次结构，该结构共分 4 层：第 1 层为目标层 A；第 2 层为准则层，准则集为  $Bi(i=1,...,3)$ ；第 3 层为第一指标层，因素集为  $Ci(i=1,...,6)$ ；见表 1。第 4 层为基本指标层，因素集为  $di(i=1,...,19)$ 。

2) 确定权重集

权重表示每一层次中各因素对上层因素的重要程度，分别赋以相应权数，采用层次分析法确定。本研究采取专家调查问卷的形式，请 10 位专家在构造判断矩阵前参与结构中各个指标进行重要性的单排序，以便减小误差，一次性通过一致性检验。依据层次分析法（AHP）的步骤，采用 MMTLAB7.6 软件编程计算指标数据权重，通过检验，总的一致性排序结果  $CR<0.1$ <sup>[28]</sup>。

3) 确定评语集

评语集是对各层次因素评价结果的直接描述和表征，是各种可能结果的集合，针对中药材种植特点，确定评语集为：

$V=(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7)=(\text{非常差}, \text{差}, \text{较差}, \text{一般}, \text{较好}, \text{好}, \text{非常好})$ 。

4) 定性指标的模糊量化

定性指标值可以采用适当的模糊数来表达。本文采用三角形模糊数，量化表示见表 2。

表 2 语言标度的三角模糊数表示

Table 2 Triangular fuzzy number representation of linguistic scale		
评价等级序号 Rating number	评价等级语言 Language evaluation grades	数值 Value
V <sub>1</sub>	非常差	(0.0,0.0,0.1)
V <sub>2</sub>	差	(0.0,0.1,0.3)
V <sub>3</sub>	较差	(0.1,0.3,0.5)
V <sub>4</sub>	一般	(0.3,0.5,0.7)
V <sub>5</sub>	较好	(0.5,0.7,0.9)
V <sub>6</sub>	好	(0.7,0.9,1.0)
V <sub>7</sub>	非常好	(0.9,1.0, 1.0)

5) 隶属度求解

已知现代道地中药材工程模式实现度的评价指标集为  $d=(d_1,d_2,...,d_{19})$ ，则对于某中药材  $j$ ，评语集可表示为  $D_j=(d_{1,j}, d_{2,j}, ...,d_{19,j})$ ， $d_{i,j}$  表示中药材  $j$  的第  $i$  个安全评价指标的评语，其中， $i=1,2, ..., 19$ ； $j=1,2, ..., n$  ( $n$

为参与评价的中药材品种总数)，据此可构造初始评价矩阵：

$$E = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{2,1} & \cdots & d_{m,1} \\ d_{1,2} & d_{2,2} & \cdots & d_{m,2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{1,n} & d_{2,n} & \cdots & d_{m,n} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中： $m$  表示最底层指标总数，本文  $m=19$ ； $n$  为参与评价的样本数（中药材品种总数）。

本文采用计算整体期望值的方法来实现三角型模糊数的实数化，具体为：设  $di_j=(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}, \gamma_{i,j})$ ，则其整体期望值  $r_{i,j}$  可表示为<sup>[29]</sup>：

$$r_{i,j} = (\alpha_{i,j} + \beta_{i,j} + \gamma_{i,j}) / 4, \quad (2)$$

从而可得到模糊评价矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{2,1} & \cdots & r_{m,1} \\ r_{1,2} & r_{2,2} & \cdots & r_{m,2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{1,n} & r_{2,n} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

6) 计算评判结果

$$B=Q\times R \quad (4)$$

式中： $Q$  为各因素的权重分配； $B$  为综合考虑所有因素后各中药材品种工程模式实现度的评价结果。

3.3 应用示例

2011 年以来，笔者依托无限极（中国）有限公司委托课题，开展了中药材种植管理模式、标准集成及质量安全课题的研究，初步形成了现代道地中药材生产工程模式，并在段木赤灵芝等中药材种植过程中成功应用，取得良好效果。

在段木赤灵芝生产标准体系建设方面，结合生产经验标准，初步构建了涉及种质、产地环境、种植过程到采后初加工各环节的标准体系，填补了标准空白，完善了标准内容；在种植管理体系建设方面，初步构建了四创新、五统一分级评估体系，涉及四创新（即流程创新、组织创新、科技创新和机制创新）、五统一（即实行统一品种、统一生产资料、统一田间管理、统一技术服务、统一产品收购、加工和销售）共 9 个评估项、每个项赋值 10 分（合计 90 分）、每个项再细分为 3—5 个评分点，评估所得分数换算为百分比，段木赤灵芝种植管理体系实现度为 75%；在质量安全体系建设方面，初步识别了关键风险点（种质、段木、关键生长期、采后预处理等），建立了质量安全指标体系，利用内梅罗综合风险指数法对质量安全进行了初步评价，结果显示质量安全风险小于 1，为安全级。

本文以段木赤灵芝种植为例，利用 AHP 法<sup>[30]</sup>确定不同指标相对于上一层指标的权重，并计算得到各指标在整个评价体系中所占的权重，见表 3。

段木赤灵芝工程模式实现度评价指标的评价结果如表 4 所示。

表 3 各指标在整个评价体系所占的权重

Table 3 Weight of assessment system's index

指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight
$B_1$	0.25	$d_2$	0.0189	$d_{12}$	0.0833
$B_2$	0.25	$d_3$	0.0189	$d_{13}$	0.1667
$B_3$	0.5	$d_4$	0.0353	$d_{14}$	0.2109
$C_1$	0.0833	$d_5$	0.0102	$d_{15}$	0.0429
$C_2$	0.0833	$d_6$	0.0209	$d_{16}$	0.0947
$C_3$	0.0417	$d_7$	0.0104	$d_{17}$	0.0694
$C_4$	0.0417	$d_8$	0.0104	$d_{18}$	0.0513
$C_5$	0.25	$d_9$	0.0104	$d_{19}$	0.0310
$C_6$	0.5	$d_{10}$	0.0104		
$d_1$	0.0833	$d_{11}$	0.0209		

表 4 段木赤灵芝工程模式实现度综合评价指标值

Table 4 Comprehensive evaluation index value on realized degree of *ganoderma lucidum* planting engineering mode

指标 Index	数值 Value	指标 Index	数值 Value
$d_1$	(0.3,0.5,0.7)	$d_{11}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_2$	(0.7,0.9,1.0)	$d_{12}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_3$	(0.7,0.9,1.0)	$d_{13}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_4$	(0.5,0.7,0.9)	$d_{14}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_5$	(0.5,0.7,0.9)	$d_{15}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_6$	(0.5,0.7,0.9)	$d_{16}$	(0.7,0.9,1.0)
$d_7$	(0.5,0.7,0.9)	$d_{17}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_8$	(0.3,0.5,0.7)	$d_{18}$	(0.7,0.9,1.0)
$d_9$	(0.5,0.7,0.9)	$d_{19}$	(0.5,0.7,0.9)
$d_{10}$	(0.3,0.5,0.7)		

依式（1），建立初始矩阵：

$$E=[(0.3,0.5,0.7) (0.7,0.9,1.0)\cdots(0.5,0.7,0.9)],$$

由式（2）和式（3）得到模式评价矩阵：

$$R=[0.5 \ 0.875 \ \cdots 0.7],$$

由式（4）得：

$$B=Q\times R=0.71.$$

由计算结果，按照最大隶属度原则，得出段木赤灵芝工程模式实现度为 0.71，较好，与段木赤灵芝种植现状相符合。

4 结论与讨论

本研究分析了现代道地中药材生产标准体系、种植管理体系和质量安全体系 3 个不同层次体系的构建方法，论述了基于上述 3 个体系的现代道地中药材生产工程模式的耦合过程及其评价体系，并以段木赤灵芝为例进行了实证。按照科学性、简明性等原则，结合专家咨询法构建了 3 个层次、19 个指标的评价指标体系，利用层次分析法确定了指标权重，利用模糊综合评价方法对段木赤灵芝生产进行实证，结果为 0.71，良好，与生产实际一致。本研究不仅对中药材生产具有较高借鉴价值，也为现代农业生产工程模式研究提供理论支撑。

现代道地中药材生产工程模式构建及评价工作开展的人还较少，生产标准模式、种植管理模式和质量安全模

式还需不断完善, 模式评价体系和方法等方面做了一些尝试性工作, 目前只是定性的模糊评价, 下一步应结合实际应用定量与定性相结合的方法对模式实现度进行客观评价。

### [参 考 文 献]

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于转发工业和信息化部等部门中药材保护和发展规划(2015—2020 年)的通知[EB/OL]. <http://www.gov.cn/>, 2015-04-27.
- [2] 孙君社, 郑志安, 张秀清, 等. 现代道地中药材种植模式及基地合作创新探索[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(3): 57—63.  
Sun Junshe, Zheng Zhian, Zhang Xiuqing, et al. Planting mode of modern genuine traditional Chinese medicinal material and its production base innovation exploration[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3): 57—63. (in Chinese with English abstract)
- [3] Zheng Zhian, Sun Junshe, Lu Xiufeng, et al. Status of famous-region Chinese herbal medicine planting bases and the building of materialized and closed management mode: An empirical analysis based on Infinitus (China) Co., Ltd. Supplier[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2015, 24(1): 55—63.
- [4] 郭巧生, 王建华. 中药材安全与监控[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [5] 李敏, 吴锐. 中药材 GAP 实施与认证[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2006.
- [6] 黄林芳, 陈士林. 无公害中药材生产 HACCP 质量控制模式研究[J]. 中草药, 2011, 42(7): 1249—1254.
- [7] 肖小河, 王伽伯, 鄢丹, 等. “道地综合指数”的构建及其应用价值[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(11): 1513—1516.
- [8] 肖小河, 金城, 赵中振, 等. 论中药质量控制与评价模式的创新与发展[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(14): 1377—1381.
- [9] 吴巍, 张春季, 苗明三. 道地药材评价模式研究[J]. 中医学报, 2011, 26(3): 339—348.
- [10] 陈士林, 黄林芳, 陈君, 等. 无公害中药材生产关键技术研究[J]. 世界科学技术, 2011, 13(3): 436—443.
- [11] 路婕, 李玲, 吴克宁, 等. 基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 323—329.  
Lu Jie, Li Ling, Wu Kening, et al. Cultivated land comprehensive quality evaluation based on agricultural land classification and soil environmental quality evaluation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 323—329. (in Chinese with English abstract)
- [12] 许桂苹, 王晓飞, 付洁. 土壤重金属污染评价方法研究综述[J]. 农村经济与科技, 2014, 25(1): 71—74.
- [13] 殷瑞钰, 汪应洛, 李伯聪. 工程哲学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [14] 杨博文. 社会系统工程概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [15] 朱高峰. 论工程的综合性[J]. 高等工程教育研究, 2011(2): 1—4.
- [16] 陶鼎来. 中国农业工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [17] 齐飞, 朱明, 周新群, 等. 农业工程与中国农业现代化相互关系分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 1—10.  
Qi Fei, Zhu Ming, Zhou Xinqun, et al. Relationship analysis between agricultural engineering and agricultural modernization in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2015, 31(1): 1—10. (in Chinese with English abstract)
- [18] 齐飞, 周新群, 丁小明, 等. 设施园艺工程集成模式构建方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 1—7.  
Qi Fei, Zhou Xinqun, Ding Xiaoming, et al. Constructing methods of engineering integrative mode for protected horticulture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [19] 孙静, 叶俊松, 程勤阳, 等. 区域性果蔬产地批发市场工程模式综合评价指标体系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 233—241.  
Sun Jing, Ye Junsong, Cheng Qinyang, et al. Comprehensive evaluation index system for engineering modes of regional wholesale market in fruit and vegetable production base[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2014, 30(10): 233—241. (in Chinese with English abstract)
- [20] 黄凰, 杨敏丽, 黄光群. 主要粮食作物机械化生产工程模式构建与评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 53—61.  
Huang Huang, Yang Minli, Huang Guangqun. Construction and evaluation of mechanized production engineering mode for major food crops[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 53—61. (in Chinese with English abstract)
- [21] 陈豫, 杨改河, 冯永忠, 等. “三位一体”沼气生态模式区域适宜性评价指标体系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 174—178.  
Chen Yu, Yang Gaihe, Feng Yongzhong, et al. Index system for regional suitability evaluation of trinity biogas ecosystem[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(3): 174—178. (in Chinese with English abstract)
- [22] 孙君社, 郑志安, 张秀清, 等. 优质道地药材规范化生产探索[J]. 中国现代中药杂志, 2015, 17(8): 756—761.
- [23] 宋西德, 李鑫, 杨继涛, 等. 农业标准系统与标准化体系框架研究[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2004, 4(4): 14—18.  
Song Xide, Li Xin, Yang Jitao, et al. Preliminary study on agricultural standards and standardization framework of China[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Social Science Edition, 2004, 4(4): 14—18.
- [24] 王峰涛, 胡之璧. 中药标准化研究的思路与方法[J]. 药学实践杂志, 2000, 18(5): 270—271.

- [25] 周根娣, 史焱, 俞周杰, 等. 淳安县千岛湖主要农产品生产基地环境质量评价与预警[J]. 上海农业学报, 2007, 23(3): 78—81.
- [26] 钱学森. 论系统工程(增订本)[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1988: 33.
- [27] 李清富, 李明欣, 辛保兵. 基于 WSR 方法论的建筑施工安全综合评价研究[J]. 河南科学, 2010, 28(3): 309—312.
- [28] 李崧, 邱微, 赵庆良. 层次分析法应用于黑龙江省生态环境质量评价研究[J]. 环境科学, 2006, 27(5): 1031—1034.
- [29] Li Song, Qiu Wei, Zhao Qingliang. Applying analytical hierarchy process to assess eco-environment quality of Heilongjiang Province[J]. Environmental Sciences, 2006, 27(5): 1031—1034. (in Chinese with English abstract)
- [30] 韩庆兰, 杨涛. AHP 算法和三角模糊数在虚拟企业的盟员选择中的应用[J]. 运筹与管理, 2003, 12(1): 17—21.
- [31] 杜栋, 庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

## Construction and evaluation of production engineering mode for modern genuine traditional Chinese medicinal material

Sun Junshe<sup>1</sup>, Zheng Zhian<sup>2</sup>, Wang Minjing<sup>1</sup>, Zhang Xiuqing<sup>3</sup>, Luo Jiangqing<sup>4</sup>, Guo Ailing<sup>4</sup>

(1. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing, 100125, China; 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083, China; 3. College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083, China; 4. Tianfangjian (China) Pharmacy Company Ltd., Guangzhou, 510623, China)

**Abstract:** Traditional Chinese medicinal material is not only the material basis for the inheritance and development of Chinese medicine cause, but also a strategic resource in the national economy and people's livelihood. China is a large traditional Chinese medicinal material producer in the world, however, the issues of the planting of traditional Chinese medicinal material are becoming increasingly acute, including the lack of planting standard, imperfect management and quality and safety monitoring difficulty. Constructing scientific and systemic engineering mode for traditional Chinese medicinal material planting is more and more important for the development of Chinese herbal medicine industry. This paper involved traditional Chinese medicinal material production processes, including breeding, cultivation, harvesting and processing, storage and other links. Based on the three factors (biological factor, environmental factor and artificial factor) of genuine traditional Chinese medicinal material production, this paper put forward the hypothesis of 6 attributes of modern genuine Chinese medicinal material production, including biological nature attribute, ecological environment attribute, processing and storage attribute, character merchandise attribute, planting management attribute and quality security attribute. Based on this, through the theory, tools and methods of systematics, a new set of methodologies of 3 systems were established, including production standard system, planting management system and quality and safety system. Based on the 3 systems, the production engineering mode for modern genuine traditional Chinese medicinal material was constructed. According to the principles of science, practicality and simplicity, the realized degree evaluation index system of production engineering mode for modern genuine traditional Chinese medicinal material was established. The weights of these indices were reckoned by the use of the comparison matrix of analytic hierarchy process built in the software of MATLAB 7.6. The realized degree of traditional Chinese medicinal material planting engineering mode was evaluated by the fuzzy comprehensive evaluation method. The wood-log *Ganoderma lucidum* planting was used as a case study. The framework of comprehensive evaluation index system for production engineering mode of traditional Chinese medicinal material was made up of 3 grades and 19 indices. The comprehensive evaluation score of the realized degree of the wood-log *Ganoderma lucidum* planting was 0.71, which indicated that the engineering mode of this production presented a good level. This result was in accord with the field investigation result. The study will lay methodological foundation for the construction of production engineering mode for modern genuine traditional Chinese medicinal material and effectively guide the relative research and industry development. The result will not only has high reference value for Chinese herbal medicine production, but also provide theoretical support for the research of engineering mode of modern agricultural production.

**Key words:** production engineering; standardization; agriculture; traditional Chinese medicinal materials; mode; evaluation