

# 基于碳氮比特征的在线堆肥配方系统设计与实现

王露瑶<sup>1</sup>, 许俊香<sup>2</sup>, 孙钦平<sup>2</sup>, 李钰飞<sup>2</sup>, 郎乾乾<sup>2</sup>, 赵祥<sup>2</sup>, 谷佳林<sup>2</sup>, 张馨<sup>3</sup>, 于景鑫<sup>3</sup>,  
王攀<sup>4</sup>, 王美玲<sup>5</sup>, 张丽霞<sup>6</sup>, 刘淑英<sup>1\*</sup>, 李吉进<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州

<sup>2</sup>北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所, 北京

<sup>3</sup>北京市农林科学院智能装备技术研究中心, 北京

<sup>4</sup>山东省泰安市农业农村局, 山东 泰安

<sup>5</sup>山东省单县农业农村局, 山东 菏泽

<sup>6</sup>中农绿康(北京)生物技术有限公司, 北京

收稿日期: 2024年3月3日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月30日

## 摘要

本文针对有机肥料生产企业的需求, 设计开发了一种基于Web Service的在线堆肥配方系统, 该系统可以根据用户选择的标准和原料, 自动计算出满足质量和成本要求的堆肥原料配比, 并提供相关的数据和管理功能。该系统包括配方计算、标准配置、原料配置、原料数据库、肥料标准库、系统管理等六个功能模块, 采用Web网址的交互形式, 利用Web Service技术实现业务流程的通用集成。基于系统特点和不用原料碳氮比(C/N)特征, 设计了六种常见原料的堆肥配方, 包括动物粪便与秸秆类、动物粪便与园林废弃物、动物粪便与农副产品加工副产物、蔬菜废弃物与秸秆类、餐厨垃圾与秸秆类、蘑菇渣与秸秆类等。

## 关键词

堆肥, 配方系统, 配方设计

# Design and Implementation of Online Compost Formulation System Based on Carbon-Nitrogen Ratio Characteristics

Luyao Wang<sup>1</sup>, Junxiang Xu<sup>2</sup>, Qiping Sun<sup>2</sup>, Yufei Li<sup>2</sup>, Qianqian Lang<sup>2</sup>, Xiang Zhao<sup>2</sup>, Jialin Gu<sup>2</sup>,  
Xin Zhang<sup>3</sup>, Jingxin Yu<sup>3</sup>, Pan Wang<sup>4</sup>, Meiling Wang<sup>5</sup>, Lixia Zhang<sup>6</sup>, Shuying Liu<sup>1\*</sup>, Jijin Li<sup>2\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 王露瑶, 许俊香, 孙钦平, 李钰飞, 郎乾乾, 赵祥, 谷佳林, 张馨, 于景鑫, 王攀, 王美玲, 张丽霞, 刘淑英, 李吉进. 基于碳氮比特征的在线堆肥配方系统设计与实现[J]. 有机化学研究, 2024, 12(2): 421-437.

DOI: 10.12677/jocr.2024.122040

<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu

<sup>2</sup>The Institute of Plant Nutrition, Resources and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing

<sup>3</sup>Intelligent Equipment Technology Research Center of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing

<sup>4</sup>Shandong Tai'an Agriculture and Rural Bureau, Tai'an Shandong

<sup>5</sup>Shandong Shan County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Heze Shandong

<sup>6</sup>Zhongnong Lv Kang (Beijing) Biotechnology Co., LTD., Beijing

Received: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2024; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

**In this paper, for the needs of organic fertilizer manufacturers, a Web Service-based online compost formulation system is designed and developed, which can automatically calculate the compost raw material ratios to meet the quality and cost requirements according to the standards and raw materials selected by the user and provide relevant data and management functions. The system includes six functional modules, including formula calculation, standard configuration, raw material configuration, raw material database, fertilizer standard library, system management, etc. It adopts the interactive form of Web URL and uses Web Service technology to achieve general integration of business processes. Based on the characteristics of the system and the carbon to nitrogen ratio (C/N) characteristics of the unused raw materials, the composting formulas of six common raw materials were designed, including animal manure and straw, animal manure and garden waste, animal manure and by-products of agricultural and sideline product processing, vegetable waste and straw, food waste and straw, and mushroom residue and straw.**

## Keywords

Compost, Formulation Systems, Formulation Design

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

农业固体废弃物是指农业生产、畜禽养殖、农副产品加工以及居民生活活动中产生的废物，如植物秸秆、人和动物粪便、厨余垃圾等等。自 20 世纪 90 年代以来，农业固体废弃物已成为我国农村生态环境的首要污染源，仅畜禽粪尿污染物排放量已超过居民生活和乡镇工业等污染物排放总量，成为许多江河、湖泊严重污染和富营养化的主要原因[1]。各种经验表明，农业固体废弃物工厂化堆肥技术作为一种高效农业技术符合我国现代农业发展的要求[2]。然而，堆肥的生产过程需要考虑多种因素，如原料种类、配比、水分、温度、氧气、pH 值等，这些因素会影响堆肥的质量和效率[3] [4]。更多的企业局限于传统的沤肥经验，面对种类繁多的农业废弃物，有机肥生产企业缺乏规范的指导，无法制定合理的堆肥配方也是目前农业固体废弃物堆肥化处理的瓶颈之一。究其原因有以下几点：第一，堆肥原料复杂多变，企业在选择堆肥配方时缺乏指导；第二，企业的实践缺乏理论的支持[5]。因此，如何根据不同的原料和标

准，快速准确地制定合理的堆肥配方，是提高企业堆肥生产水平的关键问题。

## 2. 功能结构设计

为了解决这一问题，本文设计并开发了一种堆肥配方系统，该软件基于 Web 端的 B/S 开发模式，采用基于 Java 语言的 SSM 后台框架实现，系统数据库采用 SQL Server 2016 [6] [7]。为了实现堆肥配方的自动化和智能化，堆肥配方系统围绕“标准选择 - 原料选择 - 配方计算”这三个自动配方计算思路，本文开发了一种堆肥配方系统，该软件的功能结构设计如图 1 所示。

在后续章节中将详细介绍堆肥配方系统各个功能模块的参数解释、功能描述、实现方法及操作流程。

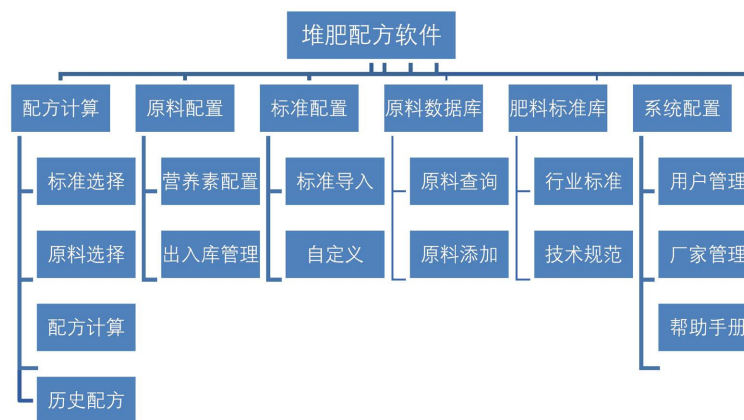


Figure 1. Composting recipe software functional structure diagram

图 1. 堆肥配方软件功能结构图

## 3. 模块参数设计

### 3.1. 配方计算

配方计算的过程涵盖了标准选择、原料选择、配方计算以及堆肥工艺参数选择四个主要步骤。首先，选择已定义的标准作为配方目标，标准包括养分名称、单位以及标准的最小和最大值。其次，选择已定义的原料作为配方的依据，原料包括参配原料、编号、价格以及最小和最大限量。然后，根据优化模型进行配方计算，通过算法实现满足标准且价格最低的配方结果。配方结果生成的配方报告包含原料 A 和原料 B 的最优值，以及不同添加剂的比例，如沸石添加量为原料总量的 10%，腐植酸添加量为原料总量的 3%，磷石膏或过磷酸钙添加量为原料总量的 2%。预计的堆肥产量和养分含量也会在报告中给出。此外，还可以选择不同的堆肥工艺参数，如条垛式、槽式发酵和发酵罐，工艺参数包括 C/N 比、含水量、翻堆或曝气频率、通风量以及堆肥周期。最后，会保存历史配方记录以供后续查询和重复使用。

### 3.2. 标准配置

- 1) 国标导入：将国家、省级、行业、企业通用或者常用配方进行导入。
- 2) 自定义配置：自定义配方标准，包含数据项：编号、名称、清单(参配养分、单位、最小值、最大值)。

### 3.3. 原料配置

- 1) 养分配置：配置养分类别，即养分字典，包含数据项：编号、名称、缩写、单位、最大值、最小值、备注信息。
- 2) 原料养分：可批量导入或者自定义原料的养分构成，包含数据项：配置编号、原料名称、养分、

含量、单位、价格、库存、厂家、有害物质等。

3) 原料出入库：进行原料库存管理，记录原料出入库信息，包含数据项：原料名称、类型(出库/入库)、数量、单位、时间，操作人。

### 3.4. 原料数据库

默认包含牛粪、猪粪、羊粪、鸡粪、鸭粪等 32 类堆肥配方原料，每种原料包含数据来源、取样地点、废弃物种类、取样地点、水分(%)、有机质(%)、有机碳(%)、全氮(%)、全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%)、全钾(K<sub>2</sub>O%)、pH、C/N 等信息。

用户可通过类别筛选查询相应数据，通过相关按钮新增原料数据。

### 3.5. 肥料标准库

行业标准：提供堆肥配方相关国家、地方、企业相关行业标准，如生物有机肥料国家标准(NY 884-2002)、中华人民共和国国家有机无机复混肥料标准(GB/T 18877-2020)等。

技术规范：提供堆肥配方相关国家、地方、企业相关技术规范，如畜禽粪便堆肥技术规范(NY/T 3442-2019)等。

### 3.6. 系统管理

用户管理：管理软件中用户信息，包含用户名、密码、电话、备注信息等内容。

厂家管理：管理软件中厂家信息，包含名称、地址、电话、联系人等内容。

## 4. 计算方法

### 4.1. 堆肥配方满足的条件

在设计堆肥配方的过程中，主要考虑三个条件。首先关注的是 C/N 比[1]，也就是堆肥原料中碳和氮的质量比，对堆肥过程中微生物的生长和活性，以及堆肥的成熟度和稳定性有重要影响。为了保证堆肥的有效性和安全性，参考了相关文献和标准，将 C/N 比控制在 20~30 之间。其次，考虑的是水分含量[2]，即堆肥原料中的水分占总重量的百分比，影响堆肥过程中的温度、氧气、pH 值等物理化学参数，以及微生物的代谢和分解活动。为了保证堆肥的适宜湿度和通气性，将水分含量控制在 55%~60%之间。最后，关注的是堆肥前期的氧气含量[3]，也就是堆肥原料中的氧气占总体积的百分比，影响堆肥过程中的有氧或厌氧条件，以及微生物的呼吸和分解方式。为了保证堆肥的有氧发酵和无害化，将堆肥前期的氧气含量控制在 10%~20%之间。

### 4.2. 堆肥配方 C/N 计算方法

$$C/N = \frac{\text{主料鲜重} \times (1 - \text{含水量}) \times \text{有机碳含量} + \text{辅料鲜重} \times (1 - \text{含水量}) \times \text{有机碳含量}}{\text{主料鲜重} \times (1 - \text{含水量}) \times \text{全氮含量} + \text{辅料鲜重} \times (1 - \text{含水量}) \times \text{全氮含量}}$$

其中，主料为畜禽粪便类，辅料为秸秆或蘑菇渣类，有机碳含量 = 有机质/1.724。

### 4.3. 堆肥成品要求

在参考国家有机肥料标准(NY525-2012)的基础上，设计了堆肥配方，并设定了堆肥质量的三个主要要求。首先，氮磷钾是堆肥中的主要养分元素，对作物的生长和产量有重要影响，因此将氮磷钾总量设定为不低于 5%。其次，含水量是影响堆肥保存、运输和施用的重要物理性质，将其设定为不高于 30%。最后，有机质是堆肥中的主要成分，对土壤的改良和作物的营养有重要作用，将有机质含量设定为不低于 45%。

#### 4.4. 两种堆肥原料计算方法

预期水分含量下，单位重量原料  $b$  所需原料  $a$  的重量为：

$$W_a = (M_b - M) / (M - M_a)$$

预期 C/N 比下，单位重量原料  $b$  所需原料  $a$  的重量为：

$$W_a = (1 - M_b) \times (C_b - R * N_b) / ((1 - M_a) * (R * N_a - C_a))$$

其中： $W_a$  为单位重量原料  $b$  所需原料  $a$  的重量； $M$  为预期混合物料水分含量； $M_a$  为原料  $a$  水分含量； $M_b$  为原料  $b$  水分含量； $N_a$  为原料  $a$  的氮含量； $N_b$  为原料  $b$  的氮含量； $R$  为预期混合物料的 C/N； $C_a$  为原料  $a$  的 C/N； $C_b$  为原料  $b$  的 C/N。

#### 4.5. 两种以上堆肥原料计算方法

针对两种以上堆肥原料的配方算法，采用普通线性规划的单目标优化方法，转化为以最低成本( $Z$ )为目标的配方优化问题，其数学模型表达为：

目标函数：

$$\min Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

约束条件：

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \geq b_1 (=, \leq b_1)$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \geq b_2 (=, \leq b_2)$$

...

$$a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \geq b_m (=, \leq b_m)$$

其中， $x_j$  为决策变量，即各种原料在配方中的量； $a_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ ) 为各种原料相应营养成分含量； $b_i$  为配方中应满足的各项营养指标或重量指标的常数值项， $n$  为原料个数， $m$  为约束方程数， $c_j$  为原料的价格。

### 5. Web Service 接口

为了构建更加灵活的架构并满足未来移动端 HTML5 动态页面和独立 App 的开发需求，本文将堆肥配方计算和原料数据库等功能通过 Web Service 技术对外开放，从而构建了一个基于 Web Service 的在线堆肥配方系统。Web Service 是平台独立、低耦合、自包含的、基于可编程的 Web 应用程序，使用开放的 XML 标准来描述、发布、发现、协调和配置应用程序，以便开发分布式的互操作应用程序[7]。Web Service 能够实现不同语言、平台或内部协议的应用之间的数据交换，无需依赖附加的、专门的第三方软件或硬件[8]。本文采用 Web 网址的交互形式，利用 Web Service 实现了业务流程的通用集成机制。本文采用的 Web Service 技术主要包括简单对象访问协议(SOAP)和 Web 服务描述语言(WSDL)。SOAP 是 Web Service 技术的核心，通过 HTTP 或 SMTP 等应用层协议进行通信，利用 XML 文件来描述程序的函数方法和参数信息，从而完成不同主机的异构系统间的计算服务处理。WSDL 是 XML 文档，通过 HTTP 向公众发布，公告客户端程序关于某个具体的 Web Service 服务的 URL 信息、方法的命名、参数和返回值等。WSDL 可以帮助客户端程序找到并调用所需的 Web Service 服务[9]。本文利用 SOAP 和 WSDL 实现了堆肥配方系统中配方计算、原料数据库等功能模块的接口开发，为有机肥料生产企业提供了在线堆肥配方系统。

## 6. 堆肥配方理论

### 6.1. 原料选择

选择堆肥原料时,参考堆肥原料的碳氮比(C/N)特征,将其分为以下三类:

(1) 低 C/N 原料:这类原料的 C/N 小于 20,一般含有较高的氮素和水分,如动物粪便、花生壳、蔬菜废弃物、玉米渣、菜粕、苜蓿渣、酒糟、油枯、海肥类、餐厨垃圾等[11]。这类原料可以提供堆肥过程中所需的氮素和水分,但是如果单独使用,会导致 C/N 过低,影响堆肥的成熟度和稳定性。

(2) 高 C/N 原料:这类原料的 C/N 大于 30,一般含有较高的碳素和纤维素,如水稻秸秆、小麦秸秆、玉米秸秆、园林废弃物、糠醛渣、木薯渣、稻壳、米糠、麦糠、锯末、腐植酸、草炭等。这类原料可以提供堆肥过程中所需的碳素和纤维素,但是如果单独使用,会导致 C/N 过高,影响堆肥的速度和效率。

(3) 中 C/N 原料:这类原料的 C/N 在 20~30 之间,一般含有适中的氮素和碳素,如蘑菇渣、糖渣、豆粕、草木灰、烟末、药渣等[10]。这类原料可以直接用于堆肥,也可以与其他原料进行配比,以调节堆肥的 C/N。

在设计堆肥配方时,主要采用了低 C/N 原料和高 C/N 原料按照一定质量比进行混合的方法,使得混合物料的 C/N 在 20~30 之间,满足高温好氧堆肥的条件[12] [13]。

### 6.2. 配方设计

根据堆肥原料的碳氮比(C/N)特征,采用低 C/N 和高 C/N 原料进行混合配比的方法,设计了六种常见原料的堆肥配方,分别为:(1) 动物粪便与秸秆类:动物粪便是一种低 C/N 原料,秸秆类是一种高 C/N 原料,将两者按照一定比例混合,可以调节堆肥的 C/N,提高堆肥的质量[6] [14] [15]。(2) 动物粪便与园林废弃物:园林废弃物是一种高 C/N 原料,含有较多的纤维素和木质素,与动物粪便混合,可以增加堆肥的通气性和结构性,促进堆肥的好氧发酵[16]。(3) 动物粪便与农副产品加工副产物:农副产品加工副产物是一种低 C/N 原料,含有较多的氮素和水分,与动物粪便混合,可以提供堆肥所需的养分和湿度,加速堆肥的成熟[17] [18]。(4) 蔬菜废弃物与秸秆类:蔬菜废弃物是一种低 C/N 原料,含有较多的水分和易分解的有机物,与秸秆类混合,可以平衡堆肥的水分和碳素,防止堆肥过湿或过干[19] [20]。(5) 餐厨垃圾与秸秆类:餐厨垃圾是一种低 C/N 原料,含有较多的油脂和蛋白质,与秸秆类混合,可以降低堆肥的油脂含量和 pH 值,提高堆肥的稳定性和安全性[21] [22] [23]。(6) 蘑菇渣与秸秆类:蘑菇渣是一种中 C/N 原料,含有适中的氮素和碳素,与秸秆类混合,可以调节堆肥的 C/N 和纤维素含量,提高堆肥的效率和质量[24] [25]。

#### 6.2.1. 动物粪便与秸秆类

基于配方系统,分别列出了牛粪、猪粪、羊粪、鸡粪、鸭粪、蚯蚓粪与 C/N 大于 20 的作物秸秆类的原料配比,均以干重计算,见表 1~6。由于动物粪便 C/N 小于 20,蘑菇渣 C/N 为 23.4,因此两者不能配出 C/N 为 25 和 30 的混合物。

Table 1. Cow dung to straw ratio

表 1. 牛粪与秸秆配比

C/N	牛粪/水稻秸秆	牛粪/小麦秸秆	牛粪/玉米秸秆	牛粪/蘑菇渣
20	9.35	10.21	7.54	2.15
25	1.85	2.17	1.42	/
30	0.83	0.60	0.58	/

**Table 2.** Ratio of pig manure to straw**表 2.** 猪粪与秸秆配比

C/N	猪粪/水稻秸秆	猪粪/小麦秸秆	猪粪/玉米秸秆	猪粪/蘑菇渣
20	3.53	3.85	2.85	0.81
25	1.19	1.40	0.91	/
30	0.59	0.76	0.41	/

**Table 3.** Sheep manure and straw ratio**表 3.** 羊粪与秸秆配比

C/N	羊粪/水稻秸秆	羊粪/小麦秸秆	羊粪/玉米秸秆	羊粪/蘑菇渣
20	2.70	2.95	2.18	0.62
25	1.19	1.39	0.91	/
30	0.64	0.82	0.45	/

**Table 4.** Ratio of chicken manure to straw**表 4.** 鸡粪与秸秆配比

C/N	鸡粪/水稻秸秆	鸡粪/小麦秸秆	鸡粪/玉米秸秆	鸡粪/蘑菇渣
20	1.27	1.39	1.02	0.29
25	0.64	0.75	0.49	/
30	0.36	0.47	0.26	/

**Table 5.** Duck manure and straw ratio**表 5.** 鸭粪与秸秆配比

C/N	鸭粪/水稻秸秆	鸭粪/小麦秸秆	鸭粪/玉米秸秆	鸭粪/蘑菇渣
<b>20</b>	<b>2.87</b>	<b>3.14</b>	<b>2.32</b>	<b>0.66</b>
<b>25</b>	<b>1.22</b>	<b>1.42</b>	<b>0.93</b>	/
<b>30</b>	<b>0.64</b>	<b>0.83</b>	<b>0.45</b>	/

**Table 6.** Earthworm manure and straw ratio**表 6.** 蚯蚓粪与秸秆配比

C/N	蚯蚓粪/水稻秸秆	蚯蚓粪/小麦秸秆	蚯蚓粪/玉米秸秆	蚯蚓粪/蘑菇渣
<b>20</b>	<b>1.52</b>	<b>1.66</b>	<b>1.22</b>	<b>0.35</b>
<b>25</b>	<b>0.77</b>	<b>0.91</b>	<b>0.59</b>	/
<b>30</b>	<b>0.44</b>	<b>0.57</b>	<b>0.31</b>	/

### 6.2.2. 动物粪便与园林废弃物

**Table 7.** Animal manure and garden waste ratio**表 7.** 动物粪便与园林废弃物配比

C/N	牛粪/ 园林废弃物	猪粪/ 园林废弃物	羊粪/ 园林废弃物	鸡粪/ 园林废弃物	鸭粪/ 园林废弃物	蚯蚓粪/ 园林废弃物
20	14.6	5.49	4.20	1.98	4.47	2.36
25	2.97	1.91	1.91	1.03	1.95	1.24
30	1.39	0.99	1.07	0.61	1.08	0.74

基于配方系统,分别列出了牛粪、猪粪、羊粪、鸡粪、鸭粪和蚯蚓粪与园林废弃物的原料配比,均以干重计算,见表7。

### 6.2.3. 动物粪便与农副产品加工副产物

基于配方系统,分别列出了牛粪、猪粪、羊粪、鸡粪、鸭粪、蚯蚓粪与C/N大于20的农副产品加工副产物的配比,均以干重计算,见表8~13。

**Table 8.** Ratio of cattle manure to processing by-products of agricultural and sideline products

**表 8.** 牛粪与农副产品加工副产物配比

C/N	牛粪/ 糠醛渣	牛粪/ 木薯渣	牛粪/稻壳	牛粪/米糠	牛粪/麦糠	牛粪/锯末	牛粪/ 腐植酸	牛粪/草炭
20	12.27	11.85	8.86	17.74	18.13	14.66	23.24	10.13
25	2.43	1.69	1.30	3.08	4.30	3.39	4.99	1.89
30	1.08	0.30	0.26	1.07	2.41	1.85	2.50	0.77

**Table 9.** Ratio of pig manure to agricultural and sideline products processing by-products

**表 9.** 猪粪与农副产品加工副产物配比

C/N	猪粪/糠醛渣	猪粪/ 木薯渣	猪粪/稻壳	猪粪/米糠	猪粪/麦糠	猪粪/锯末	猪粪/ 腐植酸	猪粪/草炭
20	4.63	4.47	3.34	6.70	6.84	5.53	8.77	3.82
25	1.56	1.09	0.84	1.98	2.77	2.19	3.21	1.22
30	0.77	0.21	0.19	0.77	1.72	1.32	1.78	0.55

**Table 10.** Ratio of sheep manure and by-products of agricultural and sideline products processing

**表 10.** 羊粪与农副产品加工副产物配比

C/N	羊粪/糠醛渣	羊粪/ 木薯渣	羊粪/稻壳	羊粪/米糠	羊粪/麦糠	羊粪/锯末	羊粪/ 腐植酸	羊粪/草炭
20	3.54	3.42	2.56	5.12	5.23	4.23	6.71	2.92
25	1.56	1.08	0.83	1.98	2.76	2.18	3.21	1.22
30	0.83	0.23	0.20	0.83	1.86	1.43	1.93	0.59

**Table 11.** Ratio of chicken manure and by-products of agricultural and sideline product processing

**表 11.** 鸡粪与农副产品加工副产物配比

C/N	鸡粪/糠醛渣	鸡粪/ 木薯渣	鸡粪/稻壳	鸡粪/米糠	鸡粪/麦糠	鸡粪/锯末	鸡粪/ 腐植酸	鸡粪/草炭
20	1.66	1.61	1.20	2.41	2.46	1.99	3.15	1.37
25	0.84	0.58	0.45	1.07	1.49	1.18	1.73	0.66
30	0.48	0.13	0.12	0.47	1.06	0.82	1.10	0.34

**Table 12.** Ratio of duck manure to agricultural and sideline products processing by-products

**表 12.** 鸭粪与农副产品加工副产物配比

C/N	鸭粪/糠醛渣	鸭粪/ 木薯渣	鸭粪/稻壳	鸭粪/米糠	鸭粪/麦糠	鸭粪/锯末	鸭粪/ 腐植酸	鸭粪/草炭
20	3.77	3.64	2.72	5.45	5.57	4.50	7.13	3.11
25	1.60	1.11	0.85	2.02	2.82	2.23	3.28	1.24
30	0.84	0.23	0.21	0.84	1.88	1.44	1.94	0.60



**Table 13.** Ratio of vermicompost and by-products of agricultural and sideline product processing  
**表 13.** 蚯蚓粪与农副产品加工副产物配比

C/N	蚯蚓粪/ 糠醛渣	蚯蚓粪/ 木薯渣	蚯蚓粪/ 稻壳	蚯蚓粪/ 米糠	蚯蚓粪/ 麦糠	蚯蚓粪/ 锯末	蚯蚓粪/ 腐植酸	蚯蚓粪/ 草炭
20	1.99	1.92	1.44	2.88	2.94	2.38	3.77	1.64
25	1.02	0.71	0.54	1.29	1.80	1.42	2.09	0.79
30	0.58	0.16	0.14	0.57	1.29	0.99	1.33	0.41

#### 6.2.4. 蔬菜尾菜与秸秆类

基于配方系统,分别列出了蔬菜尾菜与 C/N 大于 20 的作物秸秆的配比,均以干重计算,见表 14。由于蔬菜尾菜 C/N 小于 20,蘑菇渣 C/N 为 23.4,因此两者不能配比出 C/N 为 25 和 30 的混合物。

**Table 14.** Vegetable tail and straw ratio  
**表 14.** 蔬菜尾菜与秸秆配比

C/N	蔬菜尾菜/水稻秸秆	蔬菜尾菜/小麦秸秆	蔬菜尾菜/玉米秸秆	蔬菜尾菜/蘑菇渣
20	1.3	1.38	1.02	0.29
25	0.63	0.73	0.48	/
30	0.35	0.46	0.25	/

#### 6.2.5. 餐厨垃圾与秸秆类

基于配方系统,分别列出了餐厨垃圾与 C/N 大于 20 的作物秸秆的配比,均以干重计算,见表 15。由于餐厨垃圾 C/N 小于 20,蘑菇渣 C/N 为 23.4,因此两者不能配比出 C/N 为 25 和 30 的混合物。

**Table 15.** Ratio of food waste to straw  
**表 15.** 餐厨垃圾与秸秆配比

C/N	餐厨垃圾/水稻秸秆	餐厨垃圾/小麦秸秆	餐厨垃圾/玉米秸秆	餐厨垃圾/蘑菇渣
20	0.77	0.84	0.62	0.18
25	0.39	0.46	0.30	/
30	0.22	0.29	0.16	/

#### 6.2.6. 蘑菇渣与秸秆类

基于配方系统,分别列出了蘑菇渣与作物秸秆的配比,均以干重计算,见表 16。由于蘑菇渣 C/N 为 23.4,水稻秸秆、小麦秸秆、玉米秸秆 C/N 大于 30,因此两者不能配比出 C/N 为 20 的混合物。蘑菇渣 C/N 为 23.4,花生壳 C/N 小于 20,因此两者不能配比出 C/N 为 25 和 30 的混合物。

**Table 16.** Ratio of mushroom residue to straw  
**表 16.** 蘑菇渣与秸秆配比

C/N	蘑菇渣/水稻秸秆	蘑菇渣/小麦秸秆	蘑菇渣/玉米秸秆	蘑菇渣/花生壳
20	/	/	/	1.64
25	7.48	8.75	5.72	/
30	1.44	1.86	1.01	/

## 7. 系统实现

本节将重点介绍堆肥配方系统的基本功能和使用操作说明,软件主要交互形式为 Web 网站的页面交互,通过点击页面左侧的功能菜单导航栏对各项功能进行操作。

### 7.1. 配方计算功能

配方计算为堆肥配方系统的核心功能,平台此页面作为首页(图 2),通过滚动页面可以查看历史配方记录、选择配方原料和标准及进行配方计算等内容。

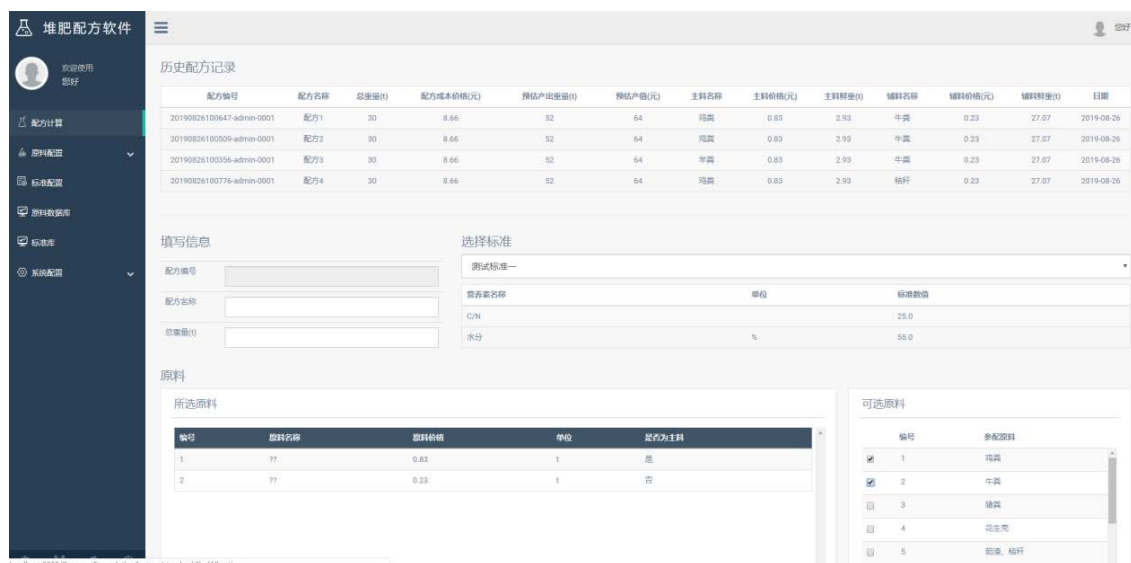


Figure 2. Recipe calculation function interface  
图 2. 配方计算功能界面

#### 1) 历史配方记录模块

该模块记录了堆肥配方原料的成本价格、总重量、预估产值等基本信息,可根据历史记录有选择地进行计算。

#### 2) 原料选择模块

在配方计算前,需利用该模块填写配方的基本信息。具体过程为:首先,选择不同肥料标准,其次,选择两种或两种以上原料。其中,通过勾选右侧可选原料复选框可以进行原料的选择,被选择的原料展示在左侧所选原料一栏(图 3)。



Figure 3. Raw material selection module interface  
图 3. 原料选择模块界面

### 3) 配方计算标准选择模块

配方计算前需要利用该模块选择配方标准(图 4), 操作过程为: 首先, 需要填写配方名称及总重量, 系统会自动生成配方编号; 其次, 选择相对应的配方标准, 页面左侧会显示所选择的标准内容(包含 C/N 及水分)。

营养素名称	单位	标准数值
C/N		25.0
水分	%	65.0

Figure 4. Formula calculation standard selection interface

图 4. 配方计算标准选择界面

### 4) 配方计算模块

该模块依据上述所选择的配方标准和配方原料进行配方决策计算并生成决策结果报告。展示配方的总价格以及原料信息, 经过计算得出的预计堆肥产量、预计养分含量、原料配比、添加剂、堆肥工艺参数选择等, 点击右上角结果导出按钮可导出计算结果(图 5)。

编号	原料名称	原料价格	单位	是否为主料
1	鸡粪	0.83	t	是
2	牛粪	0.23	t	否

编号	原料名称	原料价格(t/元)	鲜重(t)
1	鸡粪	0.83	4.29
2	牛粪	0.23	39.71

配方编号:	20190829102843-admin-0001	配方名称:	田安
配方成本价格(元):	12.70	日期:	2019-08-29
预计堆肥产量(t):		预计养分含量:	N:10%,P2O5:20%,K2O:24%

Figure 5. Formula calculation standard selection interface

图 5. 配方计算结果界面

## 7.2. 原料配置功能

### 1) 养分配置模块

原料配置中的养分配置, 可以点击修改、删除、添加按钮对养分进行增加、编辑和删除。

### 2) 养分含量配置模块

养分含量展示了编号、名称、价格、库存、厂家、有害物质等信息, 并可以点击操作列的按钮对养分含量进行添加、编辑、删除、查看该原料所包含的养分(图 6)。

设置养分的有机碳、全氮、含水量的值，以便进行配方计算。

编号	原料名称	价格	库存	厂家	有机物质	是否为主料	操作
1	鸡粪	0.83	50.0	山东博康生物科技有限公司		是	🔍 ⏮ +
2	牛粪	0.23	50.0	北京海华能源-沼泥		否	🔍 ⏮ +
3	猪粪	0.15	50.0	北京一特鸡粪		是	🔍 ⏮ +
4	花生壳	0.56	60.0	德州市维多利亚农牧有限公司	测试三	否	🔍 ⏮ +
5	苜蓿、秸秆	0.15	50.0	测试三	测试三	否	🔍 ⏮ +
Nm_008	脲建造	1.0	55.0	山东联农肥业有限公司		是	🔍 ⏮ +
Nm_90	唐山磷渣	0.6	60.0	养鸡协会		是	🔍 ⏮ +
Nm_007	发酵后的花生壳	0.32	50.0	青岛宝利源肥业有限公司		是	🔍 ⏮ +
Nm_0000	玉米胚芽粕	0.2	55.0	青岛力力康生物科技股份有限公司		是	🔍 ⏮ +
Nm_200	蚯蚓粪	0.2	50.0	滕州市畜牧研究所		是	🔍 ⏮ +

总共1页, 当前第1页

Figure 6. Nutrient content configuration interface

图 6. 养分含量配置界面

### 7.3. 标准设置功能

编号	名称	操作
GJ-1	国家标准有机无机复混肥料	🔍 ⏮ +
GJ-2	NY525-2012_有机肥料	🔍 ⏮ +
GJ-3	国家标准有机肥料	🔍 ⏮ +

总共1页, 当前第1页

Figure 7. Standard setup module interface

图 7. 标准设置模块界面

修改标准

编号: GJ-1

名称: 国家标准有机无机复混肥料

关闭 保存

Figure 8. Modified standard interface

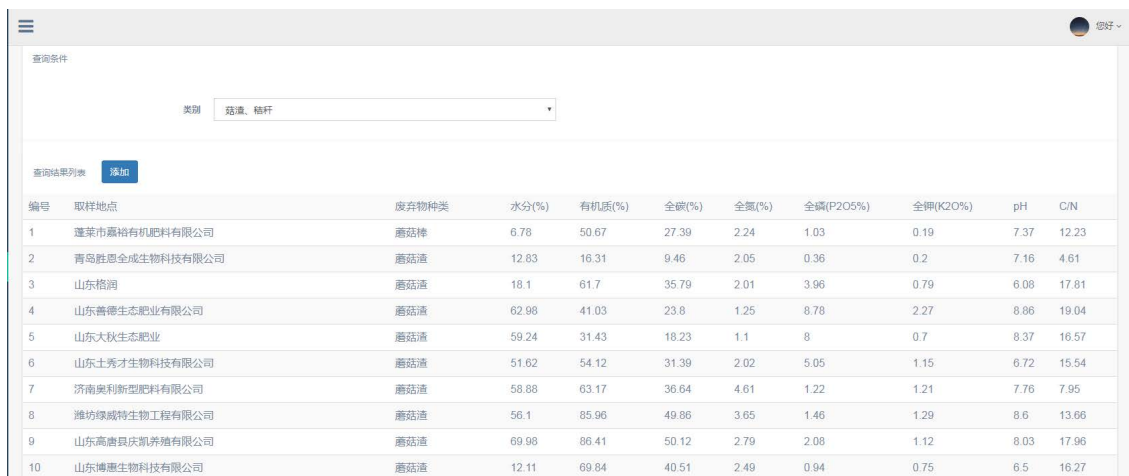
图 8. 修改标准界面

标准设置模块负责管理配方标准(图 7), 可点击操作列按钮对标准进行添加、编辑、删除和查看(图

8), 标准清单主要包括参配养分、单位、标准数值和操作。

#### 7.4. 原料数据库功能

原料数据库可以根据选择类别展示各类废弃物的数据(在下拉框对类别进行选择)。选择后查看每种原料的基本信息(图 9), 包括来源、取样地点、水分和有机质含量等。

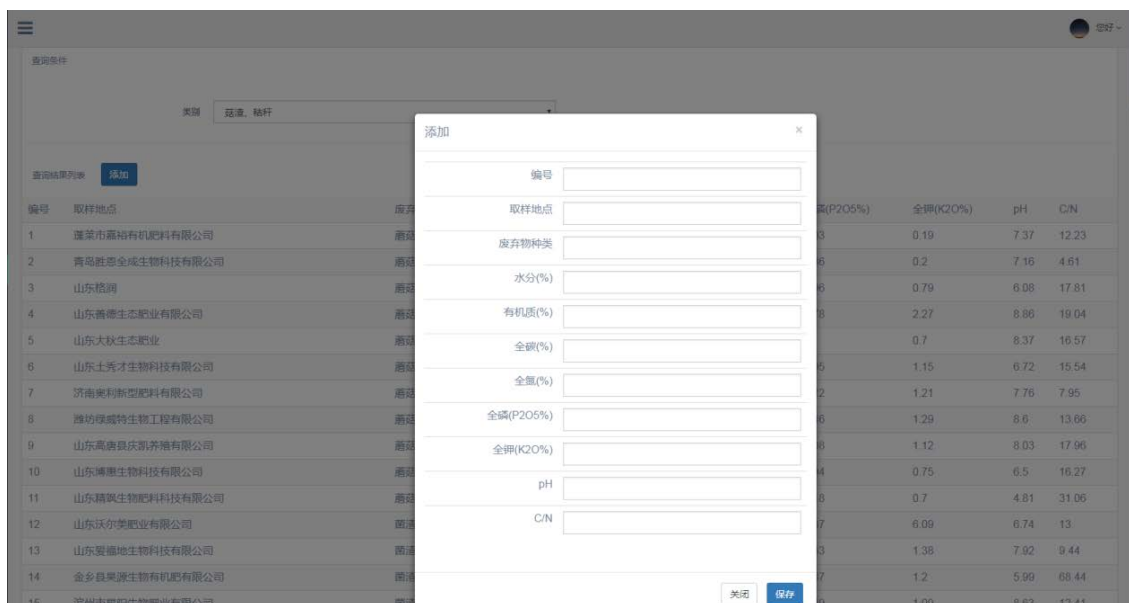


编号	取样地点	废弃物种类	水分(%)	有机质(%)	全碳(%)	全氮(%)	全磷(P2O5%)	全钾(K2O%)	pH	C/N
1	蓬莱市嘉裕有机肥料有限公司	蘑菇棒	6.78	50.67	27.39	2.24	1.03	0.19	7.37	12.23
2	青岛胜恩全成生物科技有限公司	蘑菇渣	12.83	16.31	9.46	2.05	0.36	0.2	7.16	4.61
3	山东梧桐	蘑菇渣	18.1	61.7	35.79	2.01	3.96	0.79	6.08	17.81
4	山东善德生态肥业有限公司	蘑菇渣	62.98	41.03	23.8	1.25	8.78	2.27	8.86	19.04
5	山东大秋生态肥业	蘑菇渣	59.24	31.43	18.23	1.1	8	0.7	8.37	16.57
6	山东土秀才生物科技有限公司	蘑菇渣	51.62	54.12	31.39	2.02	5.05	1.15	6.72	15.54
7	济南美利新型肥料有限公司	蘑菇渣	58.88	63.17	36.64	4.61	1.22	1.21	7.76	7.95
8	潍坊绿威特生物工程有限公司	蘑菇渣	56.1	85.96	49.86	3.65	1.46	1.29	8.6	13.66
9	山东高唐县庆凯养殖有限公司	蘑菇渣	69.98	86.41	50.12	2.79	2.08	1.12	8.03	17.96
10	山东博惠生物科技有限公司	蘑菇渣	12.11	69.84	40.51	2.49	0.94	0.75	6.5	16.27

Figure 9. Raw material database interface

图 9. 原料数据库界面

点击添加按钮(图 10), 可以在各类别里添加新的数据。



添加

编号

取样地点

废弃物种类

水分(%)

有机质(%)

全碳(%)

全氮(%)

全磷(P2O5%)

全钾(K2O%)

pH

C/N

关闭 保存

Figure 10. Feedstock interface

图 10. 添加原料界面

#### 7.5. 肥料标准库功能

肥料标准库对标准进行管理(图 11), 上传文件, 可在线查看, 也可以在操作列表里修改和删除标准

信息(图 12)。



Figure 11. Fertilizer standard library interface

图 11. 肥料标准库界面

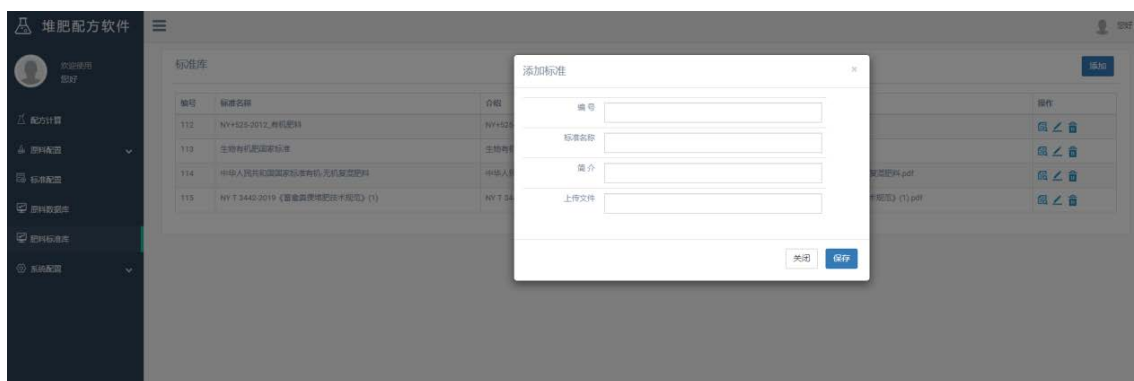


Figure 12. Add standard interface

图 12. 添加标准界面

## 7.6. 系统配置

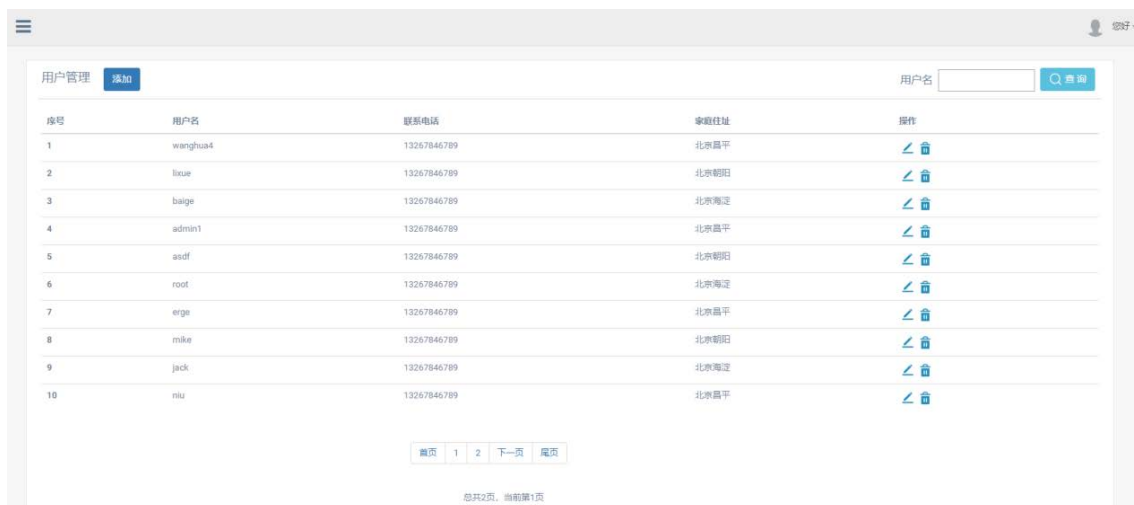


Figure 13. User management interface

图 13. 用户管理界面

用户管理模块是对管理员和用户的账号密码进行管理(图 13), 可以看到可以查询用户, 也可以在操作列里修改用户的信息, 可以对此用户进行删除操作。

根据用户名查询用户信息, 如图 14 所示:



Figure 14. User query interface

图 14. 用户查询界面

点击添加按钮(图 15), 可以增加新用户, 输入用户名和密码, 点击保存按钮即可。

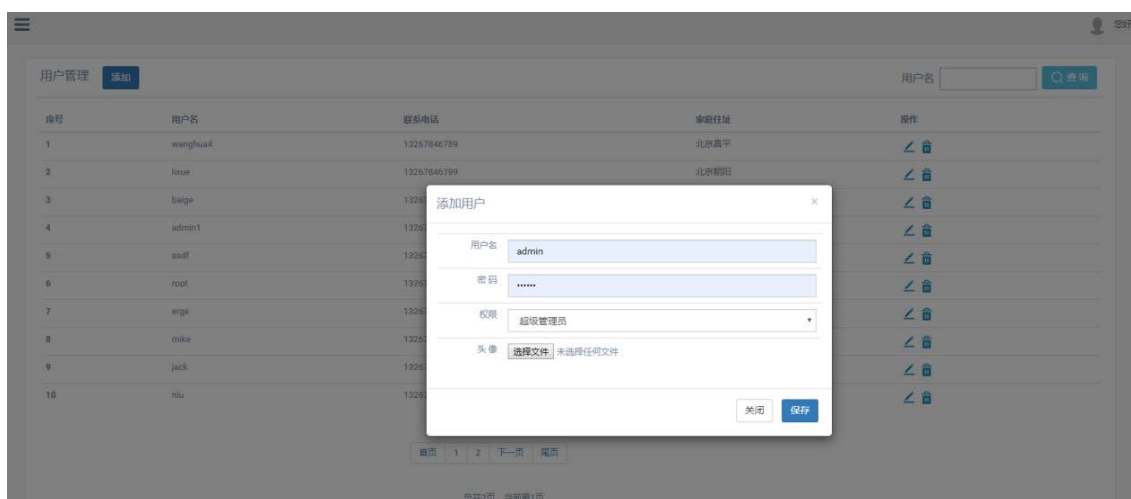


Figure 15. Add user interface

图 15. 添加用户界面

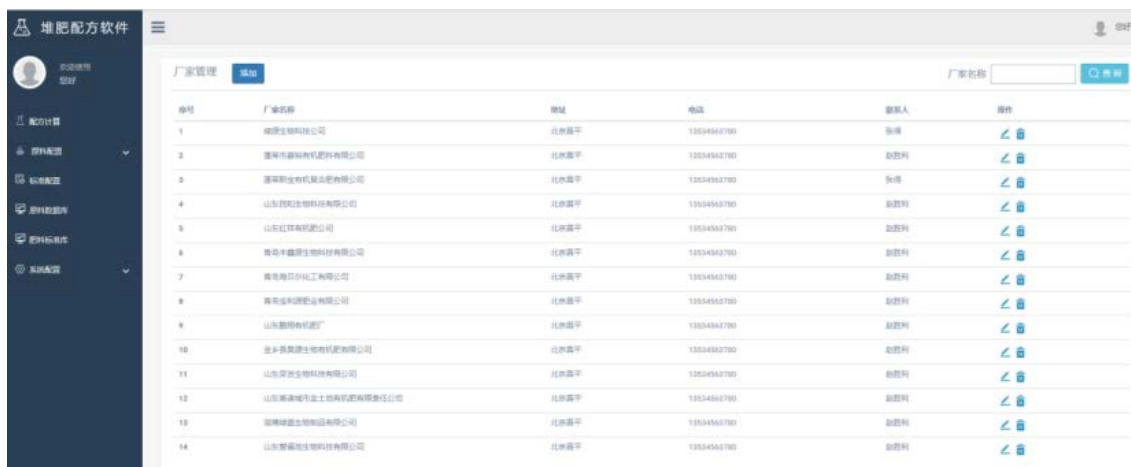


Figure 16. The manufacturer management list page is displayed

图 16. 厂家管理列表界面

厂家管理模块：厂家管理模块负责管理原料的可信供应厂家(原料供方)信息，可以通过右侧操作图标对厂家信息进行查询、新增、编辑和删除(图 16)。

根据厂家名称进行查询，如图 17 所示。



Figure 17. Manufacturer management search interface

图 17. 厂家管理搜索界面

点击添加按钮(图 18)，可以添加新厂家，填写厂家名称、地址、联系人及电话，保存即可。

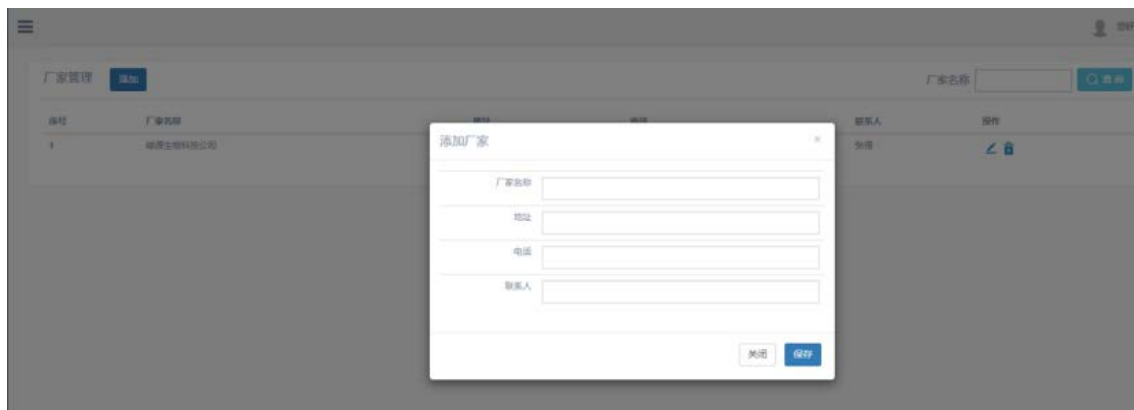


Figure 18. Add manufacturer interface

图 18. 添加厂家界面

## 8. 结论与展望

本文为农业废弃物资源化处理提供了一种新的技术手段和解决方案。针对有机肥料生产企业的需求，设计开发了一种堆肥配方系统软件，该软件主要面向企业技术员，帮助技术人员在实际堆肥配方过程中，根据碳氮比以及作物所需有机肥养分构成的不同，更加精准地调控堆肥原料的种类及比例，实现高效工作。未来的研究中，所设计开发的堆肥配方系统还需要进一步完善和优化，增加更多的功能和数据支持，提高其稳定性和兼容性。

## 基金项目

北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所团队促进项目(ZHS202305)，现代农业产业技术体系北京市创新团队 BAIC08 = 2024-YJ01，北京市农林科学院青年基金项目(QNJJ202215)，北京市农林科学院京郊篇项目(JIP2024-026)，国家自然科学基金青年基金项目(42207034)，北京市优秀青年工程师创新工作室项目。

## 参考文献

- [1] 石健华. 湖泊富营养化和农业非点源污染防治[C]//太湖高级论坛交流文集. 上海: 水利部太湖流域管理局, 2004:



395-401.

- [2] 刑文英, 李荣. 中国有机肥料养分数据集[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.
- [3] 尉吉乾, 李丹, 王京文, 等. 农林废弃物的资源化利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2023, 39(6): 77-81.
- [4] 常远, 李若琪, 李珺, 等. 好氧堆肥腐殖酸形成机制及促腐调控技术概述[J]. 中国环境科学, 2023, 43(10): 5291-5302. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230529.003>
- [5] 曹广富. 工厂化堆肥原料和配方选择现状调查与分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [6] 徐智宇. 基于 B/S 架构的工具管理系统设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2022. <https://doi.org/10.26944/d.cnki.gbfju.2021.003272>
- [7] 严竞雄. 基于 Webservice 的系统信息上报平台的设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2020(3): 212-214.
- [8] 胡敏. Web 系统下提高 MySQL 数据库安全性的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [9] 黄汉英, 熊先安, 魏明新. 模糊线性规划在优化饲料配方软件中的应用[J]. 农业工程学报, 200, 16(3): 107-110.
- [10] 张静, 王岩, 刘博艳. 有机农业种植的土壤培肥技术分析[J]. 农业开发与装备, 2023(4): 231-232.
- [11] 焦敏娜, 任秀娜, 王权, 等. 垃圾分类背景下易腐有机垃圾资源化处理模式探讨[J]. 环境卫生工程, 2022, 30(1): 28-35, 40. <https://doi.org/10.19841/j.cnki.hjwsgc.2022.01.004>
- [12] 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 等. 我国有机肥的现状与发展前景分析[J]. 土壤肥料, 2006(1): 3-8.
- [13] 崔铁宁, 刘双喜. 生态农业是发展循环经济的重要趋势[J]. 环境与可持续发展, 2007(3): 63-65.
- [14] 高福平. 循环农业中农业废弃物的再生利用[J]. 农学学报, 2008(2): 66-68.
- [15] 朱凤连, 马友华, 周静, 等. 我国畜禽粪便污染和利用现状分析[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(13): 48-50, 12.
- [16] 董克虞. 畜禽粪便对环境的污染及资源化途径[J]. 农业环境保护, 1998(6): 42-44, 48.
- [17] 李书田, 刘荣乐, 陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 179-184.
- [18] 史子学. 都市现代畜禽养殖业发展思路的探讨[J]. 中国畜牧业, 2017(17): 32-33.
- [19] 袁远, 张金辉, 李银月, 等. 蔬菜废弃物好氧堆肥处理研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 29-35. <https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.004>
- [20] 项娟, 李冰, 吴迪, 等. 优化蔬菜废弃物和玉米秸秆配比对堆肥腐熟度的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(2): 49-55. <https://doi.org/10.16861/j.cnki.zggc.2023.0041>
- [21] 王仪春, 雷学勤, 张竞舟. 浅谈中国餐厨垃圾处理的现状、问题与对策[J]. 科技展望, 2015, 25(26): 268.
- [22] 涂强楠. 餐厨垃圾有机肥料生产问题分析[J]. 南昌大学学报(工科版), 2009, 31(4): 406-408.
- [23] 王星, 王德汉, 张玉帅, 等. 国内外餐厨垃圾的生物处理及资源化技术进展[J]. 环境卫生工程, 2005, 13(2): 25-29.
- [24] 孙旭, 郝玉敏, 苏良湖, 等. 微生物菌剂对稻秆-猪粪-蘑菇渣堆肥腐熟进程及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(27): 167-171. <https://doi.org/10.13989/j.cnki.0517-6611.2016.27.058>
- [25] 牛明芬, 刘振民, 马建, 等. 不同调理剂对尾菜低 C/N 堆肥腐殖化效果的影响[J]. 土壤与作物, 2023, 12(3): 314-325.