目 次

求解二阶锥绝对值方程组的惯性 two-sweep 迭代法

…… 洪晓曼,唐嘉(1)

融合随机反向学习蜜獾算法的无人机三维路径规划

…… 文昌盛,贾鹤鸣,饶洪华,王琢,苏媛媛(7)

以太坊的社交网络平台设计方案

…… 王华,戴建成,许力(14)

7 种茶树叶片高温失水过程中水分-光合指标变化及抗旱性评价

…… 黄薇,李婧,鄢朝俊,李焰焰(23)

不同施肥处理对茶苗叶绿素荧光参数及其生长的影响

…… 石秋梅,尹传华,陈家炜,陈永安(30)

香叶树优树自由授粉家系幼林生长性状遗传变异与初选

…… 胥清利(37)

艳锦竹芋叶斑病病原菌的分离与鉴定

…… 张徐玥,宋蕴哲,李悦悦,聂传朋,李焰焰,蔡普默(44)

闽北古亭水库沉积物粒度组成及其对气候的响应

…… 叶宏萌,李青玉,华伟平,苏丽鳗,左邦瑞,陈菱,林江玲(48)

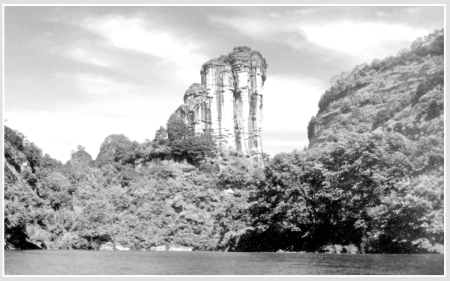
回收 PET 改性 PEI 薄膜在油水分离中的应用

…… 毛竹简,廖夏露,罗云红,饶瑞晔(53)

ZnO 纳米薄膜创新性实验设计

…… 杨为家,黎智杰,关则毅,杨杰森,周智敏,杨振湛,申冬玲(59)

武夷学院学报



国际标准连续出版物号：ISSN 1674-2109

国内统一连续出版物号：CN 35-1293/G4

第 42 卷 第 9 期 总第 227 期

2023 年 9 月 （月刊）

编辑委员会

顾　　问：付贤智　黄汉升　兰思仁　杨江帆　李宝银

主　　任：吴承祯

副 主 任：郑细鸣

编　　委：(以姓氏笔画为序)

卢道明　刘卫群　任宇红　许亦善　李宝银　李远华　吴承祯　陈　铎　沈慧芳　杨　昇　张品端　张志雄　张乔根　张国林　郑细鸣　姜景莲　姚进生　赵升云　郭翠莲　梁丽萍　雷能忠　廖　斌

编 辑 部

主　　编：吴承祯

副 主 编：郑细鸣　沈慧芳　陈　果

责任编辑：叶丽娜　白　琳　魏　琛　马阿曼　黄　超

英文审译：魏景春

JOURNAL OF WUYI UNIVERSITY

武夷学院学报

2023年　第9期　(总第227期)

目次

CONTENTS

垃圾箱后骨架的焊接工装夹具设计

…… 钟国坚,赖桂光(65)

神经网络的土钉轴力最大值预测模型

…… 卓维松,阙云,王荣,黄瑞(69)

基于傅里叶变换红外光谱的家具木材无损检测方法

…… 陈　燕(75)

基于RFID的室内定位技术综述

…… 黄凤英(81)

房地产市场羊群行为分析

…… 刘金娥,贺思语(88)

1+X证书在应用型本科院校的探索与实践

——以武夷学院“设施蔬菜生产”为例

…… 聂传朋,高雪,王桂英,李焰焰(95)

乡村振兴背景下“1357”生物技术工学人才培养新路径探析

…… 鄢树枫,张建汉,张君诚(100)

新农科背景下园林专业一流本科课程建设方案探研

——以“园林制图”课程改革为例

…… 朱旺生(104)

期刊基本参数:CN 35-1293/G4*1982*M*A4*109*ZH*P*¥8.00*600*18*2023-09

求解二阶锥绝对值方程组的惯性 two-sweep 迭代法

洪晓曼，唐嘉

（福建师范大学 数学与统计学院，福建 福州 350007）

摘　要：提出一种求解二阶锥绝对值方程组 (SOCAVE) 的惯性 two-sweep 迭代法。通过引入一个惯性项和一个恒等式，在系统矩阵和迭代矩阵满足一定条件的情况下，分析该算法的收敛性，数值结果表明所提出的方法是可行且有效的。

关键词：two-sweep 迭代法；二阶锥；绝对值方程；惯性项

中图分类号：O224　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-2109(2023)09-0001-06

绝对值方程问题(AVE)是数学规划中的一个重要的优化问题。自从 Rohn[1]于 2004 年首次提出以来，此后便吸引大量的学者对其解的存在性理论、数值求解以其收敛性分析进行深入探究。目前已经提出许多的数值求解方法，例如光滑牛顿法[2]、符号标记法[3]、松弛的非线性 PHSS 类迭代法[4]等。近几年一些学者将 AVE 的相关理论进行推广，将 AVE 延伸至二阶锥的框架之下，提出二阶锥绝对值方程(SOCAVE)问题：

$$Ax-|x|=b, \tag{1}$$

式中：$A\in\boldsymbol{R}^{n\times n}$，$b\in\boldsymbol{R}^n$ 和 $|x|$ 表示二阶锥意义下的 x 的绝对值 (定义为 x 与自身的若当乘积的二次方根)，$x\in\boldsymbol{K}^n$。通常意义下的二阶锥 $\boldsymbol{K}^n$ 是若干个二阶锥的笛卡尔乘积：

$$\boldsymbol{K}^n:=\boldsymbol{K}^{n_1}\times\cdots\times\boldsymbol{K}^{n_r},$$

式中：$n_1+n_2+\cdots+n_r=n$ 且 $\boldsymbol{K}^{n_i}:=\{(x_1,x_2)\in\boldsymbol{R}\times\boldsymbol{R}^{n_i-1}\mid\|x_2\|\leqslant x_1\}$，$\|\cdot\|$ 表示欧氏空间的 2-范数，只考虑单个二阶锥的情形即 $r=1$。由于笛卡尔乘积的性质，所有的分析同样适用于多个二阶锥的笛卡尔积的情形。

SOCAVE(1)对锥优化这个新领域起到极其重要的作用。目前国内的一些学者对 SOCAVE(1)进行了相关研究，并提出很多求解 SOCAVE(1)的数值方法。例如，Hu 等[5]提出求解 SOCAVE(1)的广义牛顿法，并证明该算法在一定条件下是全局收敛且局部二次收敛的。Miao 等[6]提出求解 SOCAVE(1)的光滑牛顿法，证明该算法在一定条件下是局部二次收敛的。Huang 等[7]提出求解 SOCAVE(1)的一种改进 SOR-like 方法，在一定条件下对该算法进行收敛性分析和误差估计。最后将该算法与二阶锥上 GN[5]、NSOR[8]、NINA[9] 等方法进行对比，证明了所提出的迭代算法是有效的。

Zhang 等[10]在 Li 研究的修正广义牛顿迭代方法[11](MGNT)的启发下，结合 two-sweep 迭代方法[12-13]和单位矩阵方程[6,14]的思想，提出了求解 AVE 的改进two-sweep 迭代方法(MTS)，将所提出的方法与 MGNT 方法[11]和 SOR-like 方法[15]进行一些数值实验，实验证明该方法在迭代步长和耗时方面更为有优势。基于此，将 Zhang 等[10]的思路更进一步地扩展到求解SOCAVE

收稿日期：2022-11-07

基金项目：国家自然科学基金青年(11901024)；福建省自然科学基金面上资助项目(2020J01166，2021J01661)。

作者简介：洪晓曼(1998-)，女，汉族，硕士研究生，主要从事数值代数研究。

通讯作者：唐嘉(1983-)，女，汉族，副教授，硕士生导师，主要从事数值代数及其应用研究。

(1)中去,添加一个惯性项(可见文献[16]),提出了求解 SOCAVE(1)的惯性 two-sweep 迭代方法,将所提出的方法与 GN 方法[5]和 MSOR-like 方法[7]进行数值实验对比,最后数值实验证明所提出的方法可行且有效的。

其余部分组织如下:在第二节中,主要介绍本文研究内容所涉及的基础知识以及相关引理;在第三节中, 我们提出了求解 SOCAVE(1)的惯性 two-sweep 迭代方法并分析了相应算法的收敛性; 在第四节中,给出所有相关算法的数值实验结果;在第五节中,对本文的工作进行总结。

1 预备知识

在欧式空间 $\boldsymbol{R}^n$ 中,基于二阶锥 $\boldsymbol{K}^n$,定义一个欧式若当代数 $\boldsymbol{V}:=(\boldsymbol{R}^n,\langle\cdot,\cdot\rangle,\mathrm{o})$,其中“o”表示若当乘积的运算符号, 对于任意两个向量 $\boldsymbol{x}=(x_1,x_2)\in\boldsymbol{R}\times\boldsymbol{R}^{n-1}$ 和 $y=(y_1,y_2)\in\boldsymbol{R}\times\boldsymbol{R}^{n-1}$,它们的若当乘积定义为:

$$x\ \mathrm{o}\ y=(x^{\mathrm{T}}y,x_1y_2+y_1x_2)^{\mathrm{T}}\in\boldsymbol{R}\times\boldsymbol{R}^{n-1}。$$

基于上述若当乘积的定义,可知该若当代数 $\boldsymbol{V}$ 中存在的单位元 $e=(1,0,\cdots,0)\in\boldsymbol{R}^n$,$x^2$ 表示 x 与自身的若当乘积,即 $\boldsymbol{x}^2=x\ \mathrm{o}\ x$,因此 SOCAVE(1)中绝对值 $|\boldsymbol{x}|$ 的定义为 $|\boldsymbol{x}|:=\sqrt{x\ \mathrm{o}\ x}$。对于任意向量 $\boldsymbol{x}=(x_1,x_2)\in\boldsymbol{R}\times\boldsymbol{R}^{n-1}$,基于二阶锥 $\boldsymbol{K}^n$ 的谱分解具有如下形式:

$$\boldsymbol{x}=\lambda_1(x)u_x^{(1)}+\lambda_2(x)u_x^{(2)},\tag{2}$$

式中:$\lambda_1(x),\lambda_2(x)$称为 x 的特征值,$u_x^{(1)},u_x^{(2)}$为对应的特征向量,它们的具体表达式如下:

$$\lambda_i(x)=x_1+(-1)^i\|x_2\|,\tag{3}$$

$$u_x^{(i)}=\begin{cases}\dfrac{1}{2}\left(1,(-1)^i\dfrac{x_2^{\mathrm{T}}}{\|x_2\|}\right)^{\mathrm{T}} & \|x_2\|\neq0,\\ \dfrac{1}{2}\left(1,(-1)^i\omega^{\mathrm{T}}\right)^{\mathrm{T}} & \|x_2\|=0,\end{cases}\tag{4}$$

式中:$i=1,2,\omega\in\boldsymbol{R}^{n-1}$,为满足 $\|\omega\|=1$ 的任意向量。这里 $\{u_x^{(1)},u_x^{(2)}\}$称为若当框架且有 $u_x^{(i)}\in\boldsymbol{K}^n$。如果 $x_2\neq0$,则该谱分解表达式是唯一的。

令 x_+表示为 x 在二阶锥 $\boldsymbol{K}^n$ 上的投影,x_-表示为 $-x$ 在二阶锥 $\boldsymbol{K}^n$ 的对偶锥 $(\boldsymbol{K}^n)^*$上的投影, 结合 x 的谱分解(2),可知 $x=x_+-x_-$,基于文献[9],可知:

$$\begin{cases}x_+=(\lambda_1(x))_+u_x^{(1)}+(\lambda_2(x))_+u_x^{(2)},\\ \mathrm{x}_-=(\lambda_1(x))_-u_x^{(1)}+(\lambda_2(x))_-u_x^{(2)},\end{cases}\tag{5}$$

式中:$(\alpha)_+=\max\{0,\alpha\}(\alpha\in\boldsymbol{R})$。针对 $\boldsymbol{R}^n$ 空间中的任意元素 x,基于它在二阶锥 $\boldsymbol{K}^n$ 上的投影定义,其绝对值函数为 $|x|=x_++x_-$,这与基于二阶锥的若当乘积定义之下的 $|x|=\sqrt{x\ \mathrm{o}\ x}$ 是等价的。 结合关于 x_+和 x_-的表达式,可以得到 $|x|=|\lambda_1(x)|u_x^{(1)}+|\lambda_2(x)|u_x^{(2)}$,再由(3)和(4)可得

$$|x|=\begin{cases}\dfrac{1}{2}\left(|x_1-\|x_2\||+|x_1+\|x_2\||,(|x_1+\|x_2\||-|x_1-\|x_2\||)\dfrac{x_2}{\|x_2\|}\right)^{\mathrm{T}} & x_2\neq0,\\ (|x_1|,0)^{\mathrm{T}} & x_2=0。\end{cases}\tag{6}$$

引理 1 [17] 设矩阵 $\boldsymbol{A}\in\boldsymbol{R}^{n\times n}$ 是非奇异的, 矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的逆的二范数严格小于 1,即 $\|A^{-1}\|<1$,则二阶锥上的绝对值方程(1)对任意 $b\in\boldsymbol{R}^n$ 具有唯一解。

引理 2[18] 令

$$W=\begin{bmatrix}C & D\\ I & O\end{bmatrix},\ \rho=(C+D)<1$$

则有

$$\rho(W)<1。$$

引理 3 [19] 设向量 $\boldsymbol{x}=(x_1,x_2),\boldsymbol{y}=(y_1,y_2)\in\boldsymbol{R}\times\boldsymbol{R}^{n-1}$,那么

$$\|\,|\boldsymbol{x}|-|\boldsymbol{y}|\,\|\leqslant\|\boldsymbol{x}-\boldsymbol{y}\|。$$

2 二阶锥绝对值方程组的惯性 two-sweep 迭代法及其收敛性分析

在本节中,将重点讨论和介绍二阶锥绝对值方程组的惯性 two-sweep 迭代法(ITSM) 及其收敛性分析。在此之前,首先回顾 Zhang 等[18]的 MTS 迭代法,该方法是结合 two-sweep 迭代法和添加单位矩阵方程的思想,用于求解 AVE。基于 MTS 方法,我们在二阶锥的框架之下,通过添加惯性项 $\alpha(x_n-x_{n-1})$,将所要求解的二阶锥绝对值方程等价地转化为以下迭代形式:

$$\begin{cases}\omega^{(k)}=x^{(k)}+a(x^{(k)}-x^{(k-1)}),\\ x^{(k+1)}=\boldsymbol{A}^{-1}(\theta\omega^{(k)}+|\omega^{(k)}|-\theta x^{(k-1)}+b)。\end{cases}\tag{7}$$

即

$$x^{(k+1)}=\boldsymbol{A}^{-1}[\theta(1+a)x^{(k)}-\theta a x^{(k-1)}+|(1+a)x^{(k)}-ax^{(k-1)}|-\theta x^{(k-1)}+b]\tag{8}$$

为了确定迭代方法(8)的收敛性质,通过引入一个恒等式关系(Golub 和 Varga[14]),将(8)转化为下列形式:

$$\begin{cases}x^{(k+1)}=\boldsymbol{A}^{-1}[\theta(1+a)x^{(k)}-\theta a x^{(k-1)}+|(1+a)x^{(k)}-ax^{(k-1)}|-\theta x^{(k-1)}+b],\\ x^{(k)}=x^{(k)}。\end{cases}\tag{9}$$

即

$$\begin{cases}x^{(k+1)}=\boldsymbol{A}^{-1}\{\theta[x^{(k)}+a(x^{(k)}-x^{(k-1)})]+|x^{(k)}+a(x^{(k)}-x^{(k-1)})|+b-\theta x^{(k-1)}\},\\ x^{(k)}=x^{(k)}。\end{cases}\tag{10}$$

接下来,我们将详细说明迭代序列$\{x^{(k)}\}_{k=0}^{+\infty}$的收敛性,并证明该迭代序列收敛到 SOCAVE(1)的唯一解。

下面,假设 x^* 是 SOCAVE(1)的唯一解,其满足下列形式:

$$\begin{cases}x^*=\boldsymbol{A}^{-1}\{\theta[x^*+a(x^*-x^*)]+|x^*+a(x^*-x^*)|+b-\theta x^*\},\\ x^*=x^*。\end{cases}\tag{11}$$

因此,在(10)的第一个等式减去(11)的第一个等式,同时在(10)的第二个等式减去(10)的第二个等式,可以得到

$$\begin{cases}x^{(k+1)}-x^*=\boldsymbol{A}^{-1}\{\theta(1+a)(x^{(k)}-x^*)-\theta a(x^{(k-1)}-x^*)+|(1+a)x^{(k)}-ax^{(k-1)}|\\ \qquad -|(1+a)x^*-ax^*|-\theta(x^{(k-1)}-x^*)\},\\ x^{(k)}-x^*=x^{(k)}-x^*。\end{cases}\tag{12}$$

取(12)中第一个方程两侧的范数:

$$\begin{aligned}&\|x^{(k+1)}-x^*\|=\|\boldsymbol{A}^{-1}[\theta(1+a)(x^{(k)}-x^*)-\theta a(x^{(k-1)}-x^*)+\\&|(1+a)x^{(k)}-ax^{(k-1)}|-|(1+a)x^*-ax^*|-\theta(x^{(k-1)}-x^*)]\|\leqslant\\&\|\boldsymbol{A}^{-1}\|[|\theta(1+a)|\,\|x^{(k)}-x^*\|+|a\theta|\,\|x^{(k-1)}-x^*\|+\\&\|\,|(1+a)x^{(k)}-ax^{(k-1)}|-|(1+a)x^*-ax^*|\,\|-\theta\|\,\|x^{(k-1)}-x^*\|]\leqslant\\&\|\boldsymbol{A}^{-1}\|[|\theta(1+a)|\,\|x^{(k)}-x^*\|+|a\theta|\,\|x^{(k-1)}-x^*\|+\\&\|\,|(1+a)x^{(k)}-ax^{(k-1)}-(1+a)x^*+ax^*|\,\|-\theta\|\,\|x^{(k-1)}-x^*\|]\leqslant\\&\|\boldsymbol{A}^{-1}\|[|\theta(1+a)|+|1+a|]\,\|x^{(k)}-x^*\|+\\&\|\boldsymbol{A}^{-1}\|(|a|+|a\theta|+|\theta|)\,\|x^{(k-1)}-x^*\|\end{aligned}\tag{13}$$

同样取(12)中第二个方程两侧的范数:

$$\|x^{(k)}-x^*\|=\|x^{(k)}-x^*\|\tag{14}$$

于是

$$\begin{bmatrix}\|x^{(k+1)}-x^*\|\\ \|x^{(k)}-x^*\|\end{bmatrix}\leqslant\begin{bmatrix}\|A^{-1}\|[|\theta(1+a)|+|1+a|]\,\|A^{-1}\|(|a|+|a\theta|+|\theta|)\\ 1\qquad\qquad\qquad\qquad 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\|x^{(k)}-x^*\|\\ \|x^{(k-1)}-x^*\|\end{bmatrix},$$

用字母 $\boldsymbol{G}$ 定义不等式右侧的矩阵

$$\boldsymbol{G}=\begin{bmatrix}\|A^{-1}\|[|\theta(1+a)|+|1+a|]\,\|A^{-1}\|(|a|+|a\theta|+|\theta|)\\ 1\qquad\qquad\qquad\qquad 0\end{bmatrix}$$

由此可知,若 $\rho(\boldsymbol{G})<1$,则由迭代方程组(10)生成的迭代序列$\{x^{(k)}\}_{k=0}^{+\infty}$将收敛到(1)的唯一解 x^*。

下面,我们将给出迭代序列$\{x^{(k)}\}_{k=0}^{+\infty}$的收敛性证明。

定理 1 如果系数矩阵 $\boldsymbol{A}\in\boldsymbol{R}^{n\times n}$ 在 SOCAVE(1)中满足 $\|A^{-1}\|<1$,其中包含的参数 θ 满足以下不等式:

$$|\theta|\leqslant\frac{1-(|a|+|1+a|)\,\|A^{-1}\|}{(1+|a|+|1+a|)\,\|A^{-1}\|},\tag{15}$$

那么对于任意两个初始向量 $\boldsymbol{x}^{(0)}$和 $\boldsymbol{x}^{(1)}$,ITSM 算法(10)生成的迭代序列$\{\boldsymbol{x}^{(k)}\}_{k=0}^{+\infty}$收敛到(1)的唯一解 $\boldsymbol{x}^*$。

证明:从已知条件 $\|\boldsymbol{A}^{-1}\|<1$,由引理 1,我们可知 SOCAVE(1)对于任意 $b\in\boldsymbol{R}^n$ 都有唯一解。下面,从引理 1 可知,为了证明矩阵 $\boldsymbol{G}$ 的谱半径严格小于 1,只需证明 $\|\boldsymbol{A}^{-1}\|\,[|\theta(1+a)|+|1+a|]+\|\boldsymbol{A}^{-1}\|\,(|a|+|a\theta|+|\theta|)$ 的谱半径严格小于 1。那么,假设 $\|\boldsymbol{A}^{-1}\|\,[|\theta(1+a)|+|1+a|]+\|\boldsymbol{A}^{-1}\|\,(|a|+|a\theta|+|\theta|)$ 的谱半径严格小于 1,这不难从以下推导过程得出结论,即

$$\begin{aligned}&\rho[\|\boldsymbol{A}^{-1}\|[|\theta(1+a)|+|1+a|]+\|\boldsymbol{A}^{-1}\|(|a|+|a\theta|+|\theta|)]\leqslant\\&\|\boldsymbol{A}^{-1}\|[|\theta(1+a)|+|1+a|+|a|+|a\theta|+|\theta|)]\leqslant\\&\|\boldsymbol{A}^{-1}\|\,|\theta|[(|1+a|+|a|+1)+|1+a|+|a|)]\leqslant 1。\end{aligned}$$

3 数值实验

为说明二阶锥绝对值方程组惯性 two-sweep 迭代法的有效性,给出了两个数值模拟例子将其与另外两种迭代算法即 GN 方法[5]和 MSOR-like 方法[7]进行对比。其中 n 表示矩阵阶数,“CPU”表示平均运行时间,“IT”表示迭代步骤的数量,“ERR”表示误差且

ERR:= $\| x^{(k)}-x^* \|$ (x^* 是精确解),用“RES”表示绝对残差向量的范数,短条形符号“—”表示相应的最佳参数不存在。在我们的数值实验中,选取零向量为迭代初始向量,选择 RES:= $\| \boldsymbol{A}x^{(k)}-|x^{(k)}|-b \| \leqslant 10^{-6}$ 作为迭代的终止条件,最大迭代次数不超过 1 000。

此外,MSOR-like 方法中的 ω 和 a 满足:

$$\omega_{a\text{opt}}=\frac{2}{2\sqrt{\mu_{a\min}\mu_{a\max}}+1},a_{a\text{opt}}=\frac{4\mu_{a\min}\mu_{a\max}+2\sqrt{\mu_{a\min}\mu_{a\max}}}{\left(\sqrt{\mu_{a\max}}+\sqrt{\mu_{a\min}}\right)^2},$$

其中 $\mu_{a\min}=1-\| \boldsymbol{A}^{-1} \|$ 和 $\mu_{a\max}=1+\| \boldsymbol{A}^{-1} \|$。

例 1[7] 假设 SOCAVE(1)中的系数矩阵 $\boldsymbol{A}$ 和常数项 b 是如下形式:

$$\boldsymbol{A}=tridiag(-1,4,-1)\in \boldsymbol{R}^{n\times n},b=\boldsymbol{A}x^*-|x^*|,$$

其中:$x^*=(-1,1,-1,1,\cdots,-1,1)\in \boldsymbol{R}^n$。

在这个实验中,考虑单个二阶锥的情形即 r=1,其中在 MSOR-like 和 ITSM 方法中满足 $\| \boldsymbol{A}^{-1} \|$ <1 这样的假设。首先,我们比较了文献[5]中的 GN 方法、文献[7]中的 MSOR-like 方法和 ITSM 方法的数值性能,表 1 列出了相应的数值结果。从表 1 可以看出,所有提到的方法都可以近似求解 SOCAVE。从表 1 中,我们发现 MSOR-like 方法和 ITSM 方法的 CPU 所占用的时间要远小于 GN 方法。虽然 GN 方法需要更多的 CPU 时间,但 GN 方法得到的解更加精确。此外,我们发现 ITSM 迭代方法不仅在迭代步数上低于 MSOR-like 方法,而且在 CPU 所占用的时间上要少于 GN 方法和 MSOR-like 方法。

表 1 GN、MSOR-like、ITSM 的比较

Tab.1 Comparison between GN、MSOR-like and ITSM

项目	n	80^2	90^2	100^2	110^2	120^2
GN	Iter	4	4	4	4	4
	Time	15.097 5	24.136 7	47.017 2	77.380 2	126.091 8
	RES	$1.072\ 5\times10^{-9}$	$8.189\ 7\times10^{-10}$	$1.405\ 5\times10^{-9}$	$3.874\ 8\times10^{-9}$	$1.434\ 7\times10^{-9}$
	ERR	$4.549\ 7\times10^{-10}$	$3.437\ 6\times10^{-10}$	$5.858\ 6\times10^{-10}$	$1.656\ 7\times10^{-9}$	$6.117\ 0\times10^{-10}$
MSOR-like	$a_{a\text{opt}}$	1.268 0	1.268 0	1.268 0	1.268 0	1.268 0
	$\omega_{a\text{opt}}$	0.732 1	0.732 1	0.732 1	0.732 1	0.732 1
	Iter	15	15	15	15	15
	Time	14.140 2	23.775 1	42.116 5	69.825 3	114.231 8
	RES	$5.619\ 4\times10^{-7}$	$6.321\ 9\times10^{-7}$	$7.024\ 4\times10^{-7}$	$7.726\ 9\times10^{-7}$	$8.429\ 5\times10^{-7}$
	ERR	$1.725\ 6\times10^{-7}$	$1.942\ 0\times10^{-7}$	$2.158\ 4\times10^{-7}$	$2.374\ 8\times10^{-7}$	$2.591\ 2\times10^{-7}$
ITSM	a	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	θ	0.045 0	0.045 0	0.045 0	0.045 0	0.045 0
	Iter	11	11	11	11	11
	Time	9.748 5	16.493 4	28.920 3	48.557 8	79.544 9
	RES	$5.746\ 4\times10^{-7}$	$6.440\ 0\times10^{-7}$	$7.133\ 7\times10^{-7}$	$7.827\ 4\times10^{-7}$	$8.521\ 3\times10^{-7}$
	ERR	$1.575\ 5\times10^{-7}$	$1.765\ 5\times10^{-7}$	$1.955\ 5\times10^{-7}$	$2.145\ 5\times10^{-7}$	$2.335\ 6\times10^{-7}$

例 2[7] 假设 SOCAVE(1)中的系数矩阵 $\boldsymbol{A}=\hat{\boldsymbol{A}}+4I$,常数项 $b=\boldsymbol{A}x^*-|x^*|$ 且 $b\in \boldsymbol{R}^n$,m 为规定的正整数且 $n=m^2$,其中:

$$\hat{\boldsymbol{A}}=\begin{pmatrix} B & -I & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -I & B & -I & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & -I & B & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & B & -I \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & -I & B \end{pmatrix},\ x^*=(-1,1,-1,1,\cdots,-1,1)^{\mathrm{T}},$$

$\hat{A}$中的 $B=tridiag\ (-1,4,-1)\in R^{m\times m}$, $I\in R^{n\times n}$ 是单位矩阵,$O\in R^{m\times m}$ 是零矩阵。

在这个例子中,我们选择 $K=K^n$ 作为二阶锥。GN 方法、MSOR-like 方法和 ITSM 方法这三种方法对于不同维数 n 都可以有效且精确地求解。从表 2 可知,GN 方法的精度都远高于其他两种方法。MSOR-like 方法的精度几乎与 ITSM 方法相同,但 ITSM 在迭代步数和 CPU 时间上都要优于 MSOR-like 方法。表 2 还表示,随着 $n=m^2$ 的增加,MSOR-like 方法的迭代次数和 CPU 时间也在增加。

表 2 GN、MSOR-like、ITSM 精度比较

Tab.2 Comparison of accuracy between GN、MSOR-like and ITSM

项 目	n	100^2	110^2	120^2	130^2	140^2
GN	Iter	4	4	4	4	4
	Time	61.930 7	77.224 8	134.327 3	218.190 3	339.045 4
	RES	$6.567\ 3\times10^{-11}$	$1.171\ 0\times10^{-10}$	$1.697\ 5\times10^{-10}$	$2.296\ 2\times10^{-10}$	$3.474\ 0\times10^{-10}$
	ERR	$7.620\ 3\times10^{-12}$	$1.363\ 4\times10^{-11}$	$2.039\ 5\times10^{-11}$	$2.745\ 4\times10^{-11}$	$4.108\ 9\times10^{-11}$
MSOR-like	a_{aopt}	1.444 7	1.444 7	1.444 7	1.444 7	1.444 7
	ω_{aopt}	0.681 1	0.681 1	0.681 1	0.681 1	0.681 1
	Iter	10	10	11	11	11
	Time	27.841 7	46.366 9	83.340 4	128.566 2	199.029 7
	RES	$8.714\ 3\times10^{-7}$	$9.583\ 9\times10^{-7}$	$1.925\ 8\times10^{-8}$	$2.086\ 6\times10^{-8}$	$2.247\ 4\times10^{-8}$
	ERR	$1.108\ 5\times10^{-7}$	$1.219\ 4\times10^{-7}$	$2.828\ 8\times10^{-9}$	$3.065\ 5\times10^{-9}$	$3.302\ 2\times10^{-9}$
ITSM	a	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	θ	0.045 0	0.045 0	0.045 0	0.045 0	0.045 0
	Iter	9	9	9	9	9
	Time	23.361 4	39.693 4	64.884 8	101.481 2	157.998 2
	RES	$7.976\ 8\times10^{-8}$	$8.782\ 2\times10^{-8}$	$9.587\ 4\times10^{-8}$	$1.039\ 2\times10^{-7}$	$1.119\ 8\times10^{-7}$
	ERR	$1.131\ 1\times10^{-8}$	$1.245\ 0\times10^{-8}$	$1.358\ 9\times10^{-8}$	$1.472\ 8\times10^{-8}$	$1.586\ 7\times10^{-8}$

4 结论

在二阶锥的框架之下引入一个惯性项和一个恒等式,提出了一种求解 SOCAVE(1)的惯性 two-sweep 迭代方法,研究了该方法的收敛性,在适当条件下给出了保证该方法收敛的充分条件。数值结果表明该方法在迭代步数和 CPU 时间方面均优于现有的方法。

参考文献:

[1] HUANG B H, MA C F. Convergent conditions of the generalized Newton method for absolute value equation over second order cones[J]. Appl Math Lett. 2019(92):151-157.

[2] GOLUB G H, VARGA R S. Chebyshev semi-iterative methods, successive overrelaxation iterative methods, and second order Richardson iterative methods [J]. Numerische Mathematik, 1961, 3(1).

[3] HUANG B H. A modified SOR-like method for absolute value equations associated with second order cones [J]. Journal of Computational & Applied Mathematics, 2022:400.

[4] ROHN J. A theorem of the alternatives for the equation |Ax|+|B||x|=b[J]. Optimization Letters, 2012,6(3):585-591.

[5] KE Y F, MA C F. SOR-like iteration method for solving absolute value equations.[J].Applied Mathematics & Computation, 2017(311):195-202.

[6] CACCETTA L, QU B, ZHOU G L. A globally and quadratically convergent method for absolute value equations [J]. Computational Optimization & Applications, 2011.

[7] LI C X. A modified generalized newton method for absolute

value equations [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 2016,170(3):1055–1059.

[8] CVETKOVIO L. Two–sweep iterative methods [J]. Nonlinear Anal 2018(30):25–30.

[9] NOOR M A, IQBAL J, NOOR K I, et al. On an iterative method for solving absolute value equations [J]. Optim Lett 2012(6):1027–1033.

[10] MANGASARIAN O L, MEYER R R. Absolute value equations [J]. Linear Algebra & Its Applications, 2006, 419(2/3): 359–367.

[11] ROHN J. An algorithm for solving the absolute value equation[J]. 2009(1).

[12] HU S L, HUANG Z H, ZHANG Q. A generalized Newton method for absolute value equations associated with second order cones[J]. Comput Appl Math, 2011,235:1490–1501.

[13] SHEN S Q, HUANG T Z. Convergence and comparison theorems for double splittings of matrices [J]. Computers and Mathematics with Applications, 2006, 51(12): 1751–1760.

[14] THONG D V, VINH N T, CHO Y J. A strong convergence theorem for Tseng´s extragradient method for solving variational inequality problems[J]. Optimization Letters, 2019.

[15] WU S L, LI C X. Two–sweep modulus–based matrix splitting iteration methods for linear complementarity problems(Article)[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2016,302: 327–339.

[16] DONG X, SHAO X H, SHEN H L. A new SOR–like method for solving absolute value equations [J]. Appl Numer Math, 2020,156: 410–421.

[17] ZHANG J J. The relaxed nonlinear PHSS –like iteration method for absolute value equations [J]. Applied Mathematics & Computation, 2015,265: 266–274.

[18] ZHANG H B, ZHANG Y J, LI Y J, et al. An improved two–sweep iteration method for absolute value equations [J]. Comput Appl Math 2022, 41(3): 122.

[19] WOENICKI Z I. Estimation of the optimum relaxation factors in partial factorization iterative methods[J]. SIAM Journal on Matrix Analysis & Applications, 1993,14(1): 59–73.

Inertial Two–sweep Iteration for Absolute Value Equations Associated with Second Order Cones

HONG Xiaoman, TANG Jia

(School of Mathematics and Statistics, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350071)

Abstract: An inertial two–sweep iteration method for solving absolute value equations associated with second order cones (SOCAVE) is presented. By introducing an inertia term and an identity, the convergence of the proposed algorithm is analyzed when the system matrix and the iterative matrix meet certain conditions. The numerical results show that the proposed method is feasible and effective.

Key words: two–sweep iteration method; second order cone; absolute value equation; inertia item

(责任编辑:马阿曼)

融合随机反向学习蜜獾算法的无人机三维路径规划

文昌盛，贾鹤鸣*，饶洪华，王琢，苏媛媛

（三明学院 信息工程学院，福建 三明 365004）

摘 要：提出一种融合随机反向学习的蜜獾算法(random opposition-based learning honey badger algorithm, ROBL-HBA)以解决复杂的无人机三维路径规划问题。在原算法的挖掘阶段和采蜜阶段后加入随机反向学习策略，增强算法的全局能力，加快了收敛速度。此外，为了更加真实地模拟复杂的无人机三维路径规划问题，将路径长度和与威胁障碍的碰撞情况作为代价函数，将无人机三维路径规划问题转化为对无人机的安全性和飞行操纵约束下的优化问题，使仿真实验更加具有真实性。实验对比多种群智能优化算法在同一场景下的运行结果，同时也将改进算法在不同场景下运行。实验结果体现改进后的蜜獾算法在无人机三维路径规划问题上有更好的实用性和鲁棒性。

关键词：无人机三维路径规划；安全约束条件；蜜獾算法；随机反向学习

中图分类号：TP301.6 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-2109(2023)09-0007-07

随着科学技术的发展，无人机技术日趋成熟并被广泛应用于各种任务[1-2]，如航空摄影、测绘、救援、运输等。无人机的三维路径规划是无人机执行任务和躲避障碍威胁的关键。无人机的三维路径首先需要满足约束条件，然后根据代价函数计算适应度值，最后得到优化后的三维路径。

国内众多学者对于无人机路径规划问题已有了广泛的研究，常见的方法有 A* 算法[3]、人工势场法[4]、Dijkstra 算法[5]、蚁群算法[6]等。其中 A* 算法的精度高，寻优效果好，但只在二维路径规划问题上有较大效果，运用于三维路径规划得到的路径不平滑且躲避障碍物的能力较差；人工势场法的算法简单、较为实用，但全局性较差，容易陷入局部最优，并且当目标点旁有障碍时，斥力大于引力，会找不到路径；Dijkstra 算法的优点在于收敛速度快，寻优效果好，一定能找到最短路径，但缺点在于算法复杂性较高，需要遍历所有节点才能找到最短路径；蚁群算法在搜索范围小时收敛速度快、寻优效果好，但随着搜索范围的增大，搜索时间会增加且精度会降低。

群智能优化算法[7-8]是处理无人机三维路径问题的有效方法之一，其中蜜獾算法(HBA)[9]模拟了蜜獾挖洞和寻找蜂蜜的动态搜索行为，结构简单，收敛速度快，具有广泛且良好的应用前景。但对于复杂的无人机三维路径规划问题，HBA 依旧容易陷入局部最优，仍有一定改进的空间。因此本文提出了一种融合随机反向学习的蜜獾算法(ROBLHBA)，给蜜獾算法加入随机反向学习策略，增加了种群的丰富度，提高了算法的全局能力。

此外，由于无人机三维路径规划是一个较为复杂的工程问题，需要考虑众多因素，本文参考了文献[10]的代价函数，考虑路径代价和威胁代价，将路径规划问题转化为优化求解问题。为了评估算法的性能，本

收稿日期：2022-06-26

基金项目：福建省自然科学基金项目(2021J011128)；国家级大学生创新创业训练计划项目(202311311019)。

作者简介：文昌盛(2000-)，男，汉族，本科生，主要从事群体智能优化算法。

通信作者：贾鹤鸣(1983-)，男，汉族，教授，硕士生导师，研究方向群体智能优化算法及工程应用。

文对比了原始蜜獾算法与 6 种有代表性的群智能优化算法，并通过 6 种不同场景验证 ROBLHBA 的性能。仿真实验表明,采用 ROBLHBA 进行无人机三维路径规划,能有效提升路径的有效性和精确度,有效验证了 ROBLHBA 在无人机三维路径规划问题上的实用性和可行性。

1 数学模型

参考文献[10],给出如下的无人机三维路径规划的数学模型。

1.1 路径代价

为实现无人机的高效飞行,无人机的三维路径必须在基础地形上实现最优化,其路径代价函数可定义为:

$$F_1(W_i)=\sum_{j=1}^{n-1}\|\overrightarrow{P_{i,j}P_{i,j+1}}\| \tag{1}$$

其中:W_i 为无人机的飞行路径,包括 n 个路径节点,每个路径点的坐标为 $P_{i,j}=(x_{i,j},y_{i,j},z_{i,j})$,$i$ 表示第 i 架无人机,j 表示第 j 个路径节点,$\|\overrightarrow{P_{i,j}P_{i,j+1}}\|$ 表示相邻两个路径节点之间的距离。

1.2 威胁代价

无人机不仅需要在基础地形找到最优路径,还需要考虑躲避威胁障碍，并且与障碍物保持一定的距离。设 K 为所有威胁障碍的集合,假设威胁障碍为圆柱体,其投影的圆心坐标为 C_k,R_k 为投影的半径,d_k 为无人机到 C_k 的距离。在威胁物的周围有一圈危险区域,在危险区域内容易产生碰撞,危险区域的直径为 $R+S$。设 D 表示无人机的直径,通过考虑 D 和 S,威胁代价函数的计算公式如下:

$$F_2(W_i)=\sum_{j=1}^{n-1}\sum_{k=1}^{k}T_k(\overrightarrow{P_{i,j}P_{i,j+1}}) \tag{2}$$

其中 $T_k(\overrightarrow{P_{i,j}P_{i,j+1}})$的计算公式如下:

$$T_k(\overrightarrow{P_{i,j}P_{i,j+1}})=\begin{cases}0, & if\ d_k>S+D+R_k\\ (S+D+R_k)-d_k, & if\ D+R_k<d_k\leqslant S+D+R_k\\ \infty, & if\ d_k\leqslant D+R_k\end{cases} \tag{3}$$

D 由无人机的大小决定,S 由众多因素决定,如果无人机在相对安全的环境中飞行,S 只有几十米,如果无人机的飞行环境恶劣且信号差,S 可能会有几百米。当无人机在威胁区域之外的地方飞行时,威胁代价为 0;当无人机途径危险区域时,距离中心 C_k 越近,威胁代价越大；当无人机途径碰撞区域或碰到威胁障碍时,威胁代价为正无穷。

1.3 总代价函数

总成本函数的计算公式如下:

$$F(W_i)=F_1(X_i)+F_2(X_i) \tag{4}$$

式中:b_k 为权重系数,$F_1(X_i)$和 $F_2(X_i)$分别表示路劲代价和威胁代价。

2 蜜獾算法

蜜罐优化算法是由 Hashim 等于 2022 年提出的一种元启发式优化算法,该算法通过模拟蜜獾的觅食行为实现对复杂问题的寻优。蜜獾有两种方式寻找食物,即挖掘模式和采蜜模式,蜜獾会随机采取一种方式寻找食物。

2.1 初始化种群

初始化蜜獾种群位置的计算公式如下:

$$X_i=lb_i+r\times(ub_i-lb_i) \tag{5}$$

式中:X_i 表示第 i 只蜜獾的位置,lb_i 和 ub_i 分别是搜素空间的下界和上界,r 为 0 到 1 的随机数。

2.2 定义气味强度和密度因子

气味强度与蜜獾的密集程度和蜜獾与猎物的距离有关,气味强度越大,蜜獾运动速度越快,其计算公式如下:

$$I_i=r_1\times\frac{S}{4\pi d_i^2} \tag{6}$$

$$S=(X_i-X_{i+1})^2 \tag{7}$$

$$d_i=X_{prey}-X_i \tag{8}$$

式中:r_1 是 0 到 1 之间的随机数,S 表示源强度或集中强度,d_i 表示蜜獾与猎物之间的距离,X_{prey} 为猎物的位置。

密度因子 α 控制随时间变化的随机性,以确保从勘探到开发的平稳过渡。其计算公式如下:

$$\alpha=C\times exp(\frac{-t}{t_{max}}) \tag{9}$$

式中:C 为 2,t 为当前迭代次数,t_{max} 为最大迭代次数。

2.3 挖掘阶段

蜜獾在挖掘阶段的行动轨迹类似心形,其计算公式如下:

$$X_{new}=X_{prey}+F\times\beta\times X_{prey}+F\times r_2\times a\times d_i\times \left|cos(2\pi r_3)\times[1-cos(2\pi r_4)]\right| \tag{10}$$

$$F=\begin{cases}1 & if\ \ r_5\leqslant 0.5\\ -1 & else\end{cases} \tag{11}$$

式中:X_{new} 为蜜獾的新位置,F 用来改变搜索方向,防止算法陷入局部最优,通过式(11)定义,β 是蜜獾获取食物的能力(大于 1,默认值为 6),r_2、r_3、r_4、r_5 为 0 到 1 之间的随机数。

2.4 采蜜阶段

采蜜阶段蜜獾会跟着蜂蜜的指引到达蜂巢,其计算公式如下:

$$X_{new}=X_{prey}+F\times r_6\times a\times d_i \tag{12}$$

式中:r_6 为 0 到 1 之间的随机数。

3 改进蜜獾算法的无人机三维路径规划

原始蜜獾算法有两种更新位置的公式,寻优能力强,但面对复杂的无人机三维路径规划问题,依旧容易陷入局部最优,出现早熟收敛现象。为了进一步提高算法的性能,在挖掘阶段和采蜜阶段后加入随机反向学习。

3.1 随机反向学习策略

反向学习策略是由 Tizhoosh 等提出的一种优化策略[11],其思想为通过当前解生成反向解,将反向解与当前解对比,择优进入下一代循环。其公式如下:

$$\hat{X}=(ub_i+lb_i)-X_i \tag{13}$$

式中:$\hat{X}$为反向解。

由于反向解与当前解之间的距离为定值,缺乏一定的随机性,Long 等[12]提出一种改进的反向学策略——随机反向学习,扩大算法的搜索范围,增加了种群的多样性。如图 1 所示,X 为任意当前解,其生成的反向随机解是不固定的,进一步增强了种群的丰富度。其计算公式如下:

$$X_{rand}=(ub_i+lb_i)-r_7\times X_i \tag{14}$$

式中:X_{rand} 为随机反向解,r_7 为 0 到 1 之间的随机数。

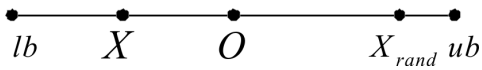


图 1 随机解和它的反向解

Fig.1 Arbitrary solution and its inverse random solution

3.2 改进蜜獾算法的无人机三维路径规划的实现

3.2.1 编码方式

将每条路径都编码成一组向量,每个向量都记录了无人机相邻两个路径点之间的飞行情况用极坐标表示。则无人机的飞行路径集合 Ω_i 可表示如下:

$$\Omega_i=(\rho_{i,1},\psi_{i,1},\phi_{i,1},\rho_{i,2},\psi_{i,2},\phi_{i,2},\cdots,\rho_{i,dim},\psi_{i,dim},\phi_{i,dim}) \tag{15}$$

式中:dim 为路径节点的个数,β 为幅度,Ψ 为俯仰角,φ 为偏航角。

3.2.2 将球面坐标转换成平面直角坐标

通过上述公式更新得到路径向量集 Ω_i, 并将 Ω_i 转换成空间直角坐标系中的飞行路径 W_i,每个路径点 $P_{i,j}=(x_{i,j},y_{i,j},z_{i,j})$通过以下公式计算:

$$x_{ij}=x_{i,j-1}+\rho_{ij}\times sin(\psi_{ij})\times cos(\phi_{ij}) \tag{16}$$

$$y_{ij}=y_{i,j-1}+\rho_{ij}\times sin(\psi_{ij})\times sin(\varphi_{ij}) \tag{17}$$

$$z_{ij}=z_{i,j-1}+\rho_{ij}\times cos(\psi_{ij}) \tag{18}$$

3.2.3 无人机三维路径规划的具体步骤

步骤一:初始化地形、威胁障碍和相关参数;

步骤二:使用公式(5)初始化种群,并将其编码成 Ω_i;

步骤三:使用公式(6)和公式(9)更新气味强度和密度因子;

步骤四:使用公式(10)进行挖掘阶段或者使用公式(12)进行采蜜阶段;

步骤五:使用公式(14)生成随机反向解,对比当前解选择最优解;

步骤六:使用公式(4)适应度值;

步骤七:判断是否到达最大迭代次数,如果没有到达最大迭代次数,则回到步骤三,反之则结束循环;

步骤八:使用公式(16)—公式(18)将球面坐标转换成平面直角坐标,并输出最优路径。

算法实现的流程图如图 2 所示。

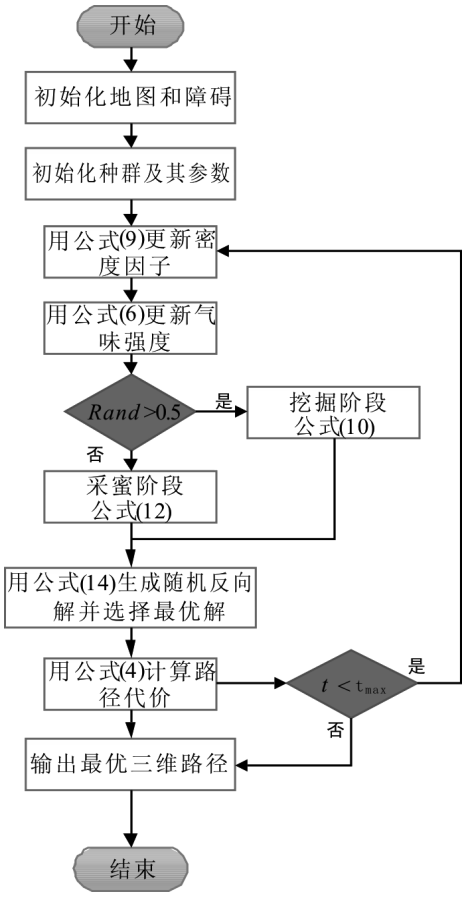


图 2 基于 ROBLHBA 的无人机三维路径规划的流程图

Fig.2 Flow chart of UAV 3D path planning based on ROBLHBA

4 仿真实验与分析

实验均在主频为 2.50 GHz 的 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11700 处理器,16 GB 内存,操作系统为 64 位 Windows11 的电脑上使用 MATLAB2021a 完成。同时采用了三明部分地区的地形作为实验的测试地图。

4.1 多种优化算法的参数设置

为保证本次实验测试的公平性,算法的迭代次数为 t_{max}=500,个体数量 N=20,维度 dim=10,无人机的起点 P_{start}=(40,50,150),终点 P_{end}=(850,750,80)。本次实验选取了蜜獾算法(honey badger algorithm,HBA),野马优化算法(wild horse optimizer,WHO)[13],鲈鱼优化算法(remora optimization algorithm,ROA)[14], 分组教学优化算法 (group teaching optimization algorithm,GTOA)[15], 鲸鱼优化算法 (whale optimization algorithm,WOA)[16], 哈里斯鹰优化算法 (harris hawks optimization,HHO)[17] 和天鹰优化算法 (aquila optimizer,AO)[18] 作为对比算法,算法的参数设置如表 1 所示,其中 GTOA 算法无调节参数。

表 1 各个算法的参数设置

Tab.1 Parameter setting of each algorithm

序号	算法名称	参数
1	ROBLHBA	C=2, β=6
2	HBA	C=2, β=6
3	WHO	PS=0.2, PC=0.13
4	ROA	C=0.1
5	WOA	B=1
6	HHO	C=0.1
7	AO	α=0.1, β=0.1

4.2 多种算法的仿真对比结果

为展示 ROBLHBA 在无人机三维路径规划问题上的优势, 表 2 给出了多种算法运行 10 次的统计数据,其中 Best 表示最优的适应度值,Mean 表示平均适应度值,Std 表示适应度值标准差。从表 2 中可以看出,ROBLHBA 得到了最好的最优适应度值、平均适应度值和适应度标准差, 相较于原算法 HBA 有一定的提升;WHO 算法得到的最优适应度值与 ROBLHBA 相近,虽然标准差明显优于 ROBLHBA,但是平均适应度值与 ROBLHBA 依旧有较大差距;GTOA、HHO 算法和 AO 算法的适应度标准差明显优于 ROBLHBA,但是最优适应度值和平均适应度值与 ROBLHBA 差距依旧很大;ROA 和 WOA 得到的最优适应度值、平均适应度值和适应度标准差都与 ROBLHBA 有较大的差距。通过表 2 数据可知,ROBLHBA 在无人机三维路径规划问题上有较强的收敛能力和鲁棒性。

表 2 各个算法的最优值、均值和方差

Tab.2 Optimal value, mean value and variance of each algorithm

算法	Best	Mean	Std
ROBLHBA	5 476.229 3	5 670.025 1	139.301 7
HBA	5 601.728 4	5 794.886 8	162.954 9
WHO	5 477.103 8	5 889.273 1	109.251 8
ROA	5 776.553 3	6 084.299 4	198.986 4
GTOA	5 994.419 6	6 123.802 6	86.011 2
WOA	5 908.645 6	6 188.529 2	181.265 3
HHO	5 978.779 6	6 138.863 6	85.675 4
AO	5 892.696 0	6 161.695 9	103.344 4

图 3 及图 4 分别为多种算法在同一场景下运行的立体图和俯视图。从图 4 中可以看出,HBA、WHO 算法、HHO 算法、ROA 和 AO 算法求得的飞行路径偏离较远;ROBLHBA 和 GTOA、WOA 得到的飞行路径相近,但进一步观察图 3 可以看出,ROBLHBA 的路径相对平缓,GTOA 和 WOA 得到的飞行路径变化幅度大相对曲折,在实际中不适合作为飞行路径。

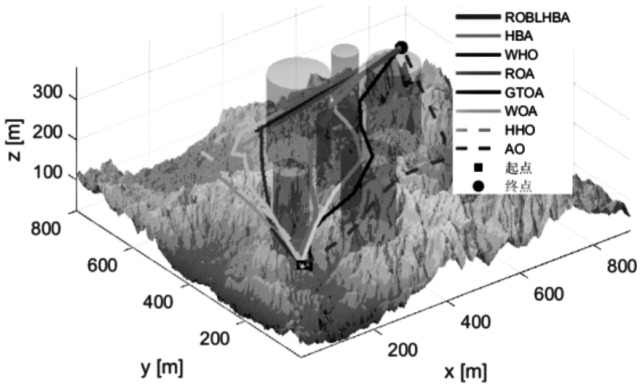


图 3 多种算法在同一场景下运行的立体图

Fig.3 Stereogram of multiple algorithms running in the same scene

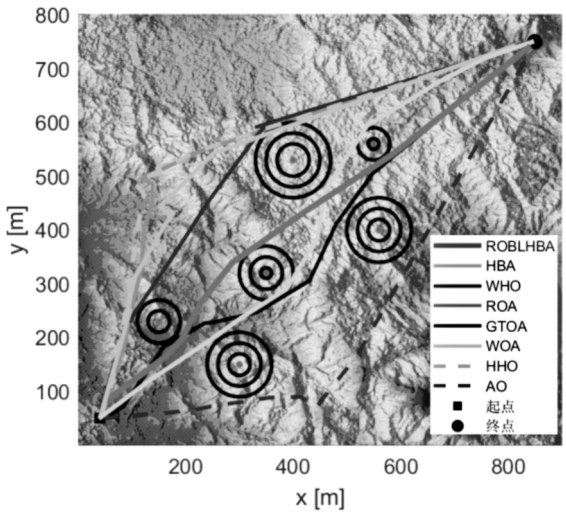


图 4 多种算法在同一场景下运行的俯视图

Fig.4 Stereogram of multiple algorithms running in the same scene top view of multiple algorithms running in the same scene

图 3、图 4 可以大致看出 ROBLHBA 求得了最优的飞行路径,但不明确,图 5 给出了不同算法在同一场景下运行的适应度收敛曲线图。不难看出,HBA、HHO 算法、AO 算法和 ROA 在迭代中难以收敛,无法得到最优路径。WOA、GTOA 和 WHO 算法虽然有一定收敛能力,但与 ROBLHBA 相比依旧有所不足。

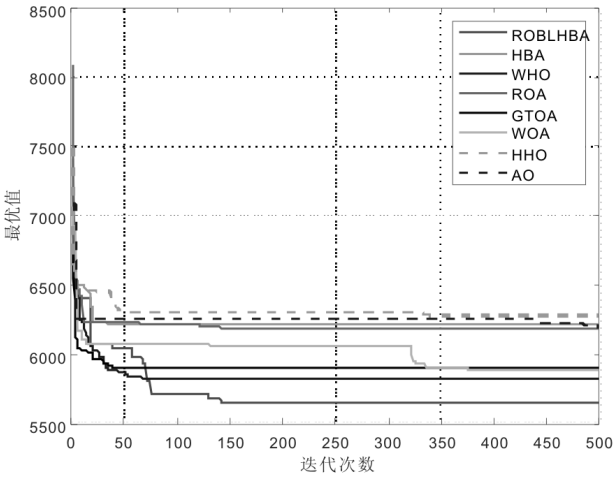


图 5 多种算法在同一场景下运行的适应度值收敛曲线图

Fig.5 Fitness value convergence curve of multiple algorithms running in the same scenario

4.3 ROBLHBA 在不同场景中的运行结果

图 6 到图 10 为 ROBLHBA 在五个不同场景下求得的无人机三维路径的立体图和俯视图。图 6 及图 7 的威胁区域较少,地形较为简单,图 8-图 10 的威胁区域较多,地形较为复杂。可以看出,ROBLHBA 在简单地形和复杂地形中都能找到最优路径,明显优于原始 HBA。

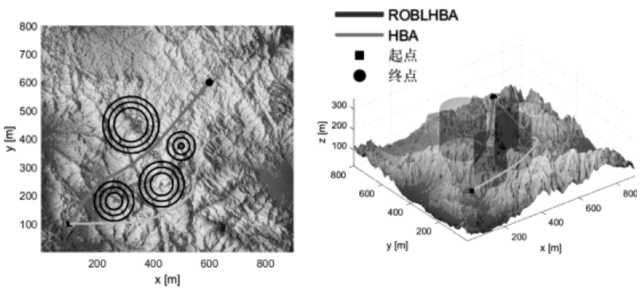


图 6 ROBLHBA 在场景一下的运行结果

Fig.6 Running results of ROBLHBA in scenario 1

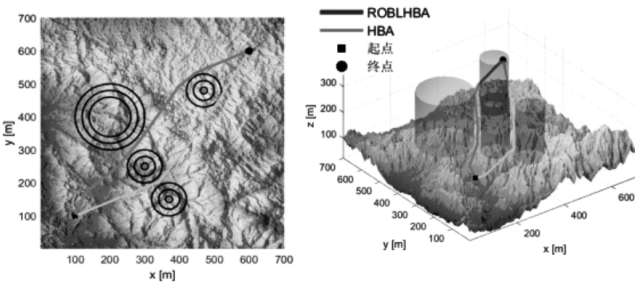


图 7 ROBLHBA 在场景二下的运行结果

Fig.7 Running results of ROBLHBA in scenario 2

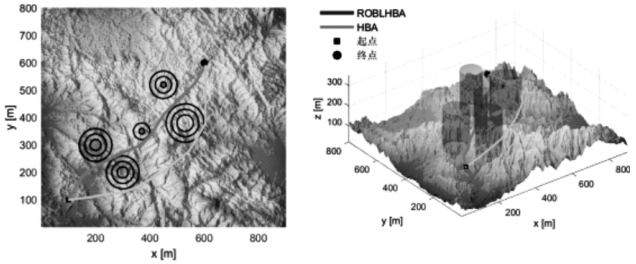


图 8 ROBLHBA 在场景三下的运行结果

Fig.8 Running results of ROBLHBA in scenario 3

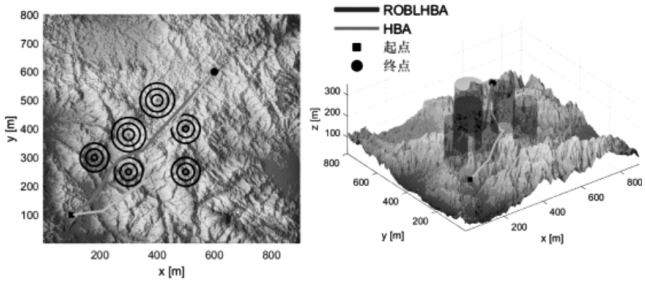


图 9 ROBLHBA 在场景四下的运行结果

Fig.9 Running results of ROBLHBA in scenario 4

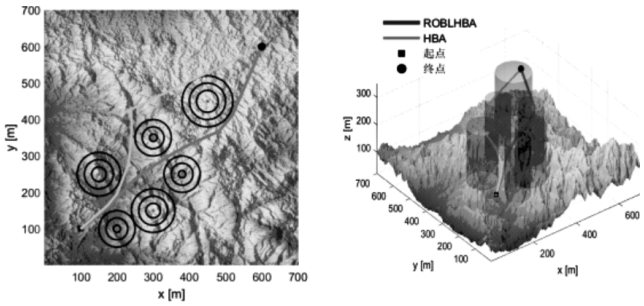


图 10 ROBLHBA 在场景五下的运行结果

Fig.10 Running results of ROBLHBA in scenario 5

5 总结

提出一种改进蜜獾算法的无人机三维路径规划方法,在原始蜜獾算法的基础上,加入了反向学习策略,提升了算法的收敛能力和鲁棒性。在构建模型时,选择路径代价和与威胁代价作为无人机三维路径规划的代价函数, 使实验结果更加真实。仿真表明 ROBLHBA 在无人机三维路径规划问题上优于其他对比算法,后续将进一步调整算法的参数,提升算法在无人机三维路径规划上的性能。

参考文献:

[1] 贾鹤鸣,饶洪华,王琢, 等. 基于改进蜜獾算法的无人机三维路径规划[J].龙岩学院学报,2022,40(5):18-25.

[2] 伍国华,毛妮,徐彬杰,等.基于自适应大规模邻域搜索算法的多车辆与多无人机协同配送方法[J/OL].控制与决策:1-9 [2022-06-25]. DOI:10.13195/j.kzyjc.2021.2268.

[3] 魏瑞轩,许卓凡,王树磊,等.基于 Laguerre 图的自优化 A-Star 无人机航路规划算法[J].系统工程与电子技术,2015,37(3):577-582.

[4] 赵正戴,谢如恒,南英.满足末端航向约束的人工势场法算法研究[J].计算机仿真, 2021, 38(9): 84-89.

[5] 程凝怡,刘志乾,李昱奇.一种基于 Dijkstra 的多约束条件下智能飞行器航迹规划算法 [J]. 西北工业大学学报,2020,38(6):1284-1290.

[6] 陈侠,艾宇迪,梁红利.基于改进蚁群算法的无人机三维航迹规划研究[J].战术导弹技术,2019(2):59-66,105.

[7] 贾鹤鸣,李瑶,孙康健.基于遗传乌燕鸥算法的同步优化特征选择[J/OL].自动化学报:1-18 [2022-06-24].DOI:10.16383/j.aas.c200322.

[8] 贾鹤鸣,李瑶,孙康健.基于遗传乌燕鸥算法的同步优化特征选择[J/OL].自动化学报:1-18[2022-06-25].DOI:10.16383/j.aas.c200322.

[9] HASHIM F A , HOUSSEIN E H , HUSSAIN K , et al. Honey Badger Algorithm: New Metaheuristic Algorithm for Solving Optimization Problems[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2021(2).

[10] PHUNG M D, HA Q P. Safety-enhanced UAV path planning with spherical vector-based particle swarm optimization[J]. Applied Soft Computing, 2021, 107: 107376.

[11] TIZHOOSH H. R. Opposition-Based learning: a new scheme for machine intelligence[C]. International Conference on International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control & Automation. IEEE, 2005: 695-701.

[12] LONG W , JIAO J , LIANG X , et al. A Random Opposition-Based Learning Grey Wolf Optimizer[J]. IEEE Access, 2019:99.

[13] NARUEI I, KEYNIA F. Wild horse optimizer: a new meta-heuristic algorithm for solving engineering optimization problems[J]. Engineering with Computers, 2021:1-32.

[14] JIA H M, PENG X X, LANG C B. Remora optimization algorithm[J]. Expert Systems With Applications(S0957-4174), 2021, 185(9): 15665.

[15] ZHANG Y, JIN Z. Group teaching optimization algorithm: A novel metaheuristic method for solving global optimization

problems [J]. Expert Systems with Applications, 2020: 113246.

[16] MIRJALILI, SEYEDALI, LEWIS, et al. The whale optimization algorithm[J]. Advances in engineering software, 2016.

[17] AAHA B , SM C , HF D , et al. Harris hawks optimization: Algorithm and applications [J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 97:849-872.

[18] ABUALIGAH L, YOUSRI D, ELAZIZ M A, et al. Aquila optimizer: a novel meta-heuristic optimization algorithm [J]. Computer & industrial engineering, 2021, 157: 107250.

UAV 3D Path Planning Based on Random Opposition-based Learning Honey Badger Algorithm

WEN Changsheng, JIA Heming*, RAO Honghua, WANG Zhuo, SU Yuanyuan

(Department of Information Engineering, Sanming University, Sanming, Fujian 365004)

Abstract: This paper presents a random opposition based learning honey badger algorithm (ROBLHBA) to solve the complex three-dimensional path planning problem of UAV. The random reverse learning strategy is added to the original algorithm after the mining stage and the honey collecting stage, which enhances the global ability of the algorithm and accelerates the convergence speed. In addition, in order to more truly simulate the complex UAV three-dimensional path planning problem, this paper takes the path length and the collision situation of threat obstacle as the cost function, and transforms the UAV three-dimensional path planning problem into an optimization problem under the constraints of UAV safety and flight control, so that the simulation experiment is more realistic. The experiment compares the running results of several swarm intelligence optimization algorithms in the same scenario, and the improved algorithm also runs in different scenarios. The experimental results show that the improved honeybadger algorithm has better practicability and robustness in UAV 3D path planning.

Key words: UAV three-dimensional path planning; safety constraints; honey badger algorithm; random opposition-based learning

(责任编辑:叶丽娜)

以太坊的社交网络平台设计方案

王华[1,3]，戴建成[1,3]，许力[2,3]

（1.闽江师范高等专科学校 数字信息工程学院，福建 福州 350117；2.福建师范大学 计算机与网络空间安全学院，福建 福州 350117；3.物联网福建省高校应用技术工程中心，福建 福州 350117）

摘 要：提出一种基于以太坊的社交网络平台设计方案，该方案利用以太坊、智能合约与现有虚拟货币交易所实现了分布式的社交网络平台。设计身份认证方案实现对滥发不良信息用户的管理。设计基于投票的监管机制，解决中心化管理单点瓶颈限制的问题。设计基于热榜函数的“评价–流量兑现”双模式激励机制，确保用户发布良好信息的收益高于发布恶意信息。方案的安全管理不再依赖于中心化管理者。考虑到系统性能，本文优化了帖子存储设计；系统原型测试与分析表明方案的可行性和有效性。

关键词：区块链；以太坊；去中心化；社交网络；智能合约

中图分类号：TP393.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1674–2109(2023)09–0014–09

随着互联网的蓬勃发展，社交网络成为新时代信息传递的重要媒介[1]。人们在社交网络中可以共享、获取各种信息。目前，社交网络已经成为人们日常生活的重要组成部分。据统计 2019 年我国社交网络用户规模已达到 8.62 亿人，预计 2022 年中国社交网络用户整体突破 10 亿人[1]。当前社交网络的发展依赖于中心化的社交网络平台，受到单点瓶颈限制，中心化管理者无法实时管理用户发布的不良信息。更为严重的是，出于自身利益最大化的考虑，管理者常常会利用用户流量来控制和影响舆论导向，达到不可告人的目的，这无疑损害了相关用户的权益。甚至，管理者凭借控制权集中、信息修改不透明等优势，对相关用户的数据进行篡改，使得相关用户的切身权益更加得不到保障。因此，设计一个新的社交网络平台成为重要的研究课题。

2008 年，中本聪发布比特币，区块链的概念由此产生[2]。区块链具有去中心化、不可篡改、全程留痕、可以追溯、集体维护、公开透明等特点[2]。经过十多年的研究与发展，区块链已从数字货币 1.0 阶段，到结合智能合约的 2.0 阶段[3]，再到现在的全面接触社会生活的 3.0 阶段[4]。近些年来，区块链技术广泛应用到人们生活和社会发展的方方面面，在金融[5]、农业[6]、政务[7]等领域提供了分布式安全服务。以太坊利用区块链技术建立了一个开源的有智能合约功能的公共区块链平台[8]，更进一步推进了去中心化应用的快速发展。

本文提出一个去中心化社交网络方案，并基于以太坊、智能合约与现有虚拟货币交易所实现了分布式的社交网络平台。该方案不再依赖中心化管理者，避免了中心化管理者控制舆论和篡改用户信息。

考虑到不良信息监管问题，本文设计身份认证方案实现对滥发不良信息用户的管理。设计基于投票的监管机制，解决了中心化管理单点瓶颈限制的问题。设计基于热榜函数的“评价–流量兑现”双模式激励机制，确保用户发布良好信息的收益高于发布恶意信息。

通过 hash 算法降低区块链的存储开销。Solidity 在线集成开发环境 Remix 对平台性能进行测试，实验结果表明，所提方案实现了预期功能，降低了存储开

收稿日期：2023–06–28

基金项目：国家自然科学基金海峡联合基金重点项目（U1905211）。

作者简介：王华(1977–)，男，汉族，副教授，主要从事数据分析、区块链等的研究。

销,减少了 gas 消耗,在使用少量存储空间与算力的情况下,保证了分布式信任安全。

1 背景知识

1.1 区块链

区块链是一种运用密码学解决分布式信任问题的数据结构[9]。如图 1 所示,区块链通过将前一区块 Hash 值与当前区块数据进行哈希处理,得到一个可快速验证的 Hash 值。根据使用场景不同,区块记录的数据类型也不同,比特币则记录了交易信息[10]。区块链利用密码学形成一种前后关联、可快速验证、且难以伪造的数据记录结构体,从而保证了数据的真实性。

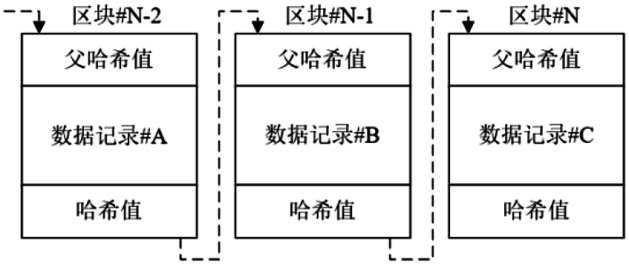


图 1 区块链结构

Fig.1 Block chain structure

1.2 以太坊

以太坊是一个开源的有智能合约功能的公共区块链平台[8],通过其专用加密货币——以太币提供去中心化的以太虚拟机(EVM)来处理点对点合约[11]。以太坊设计框架如图 2 所示。

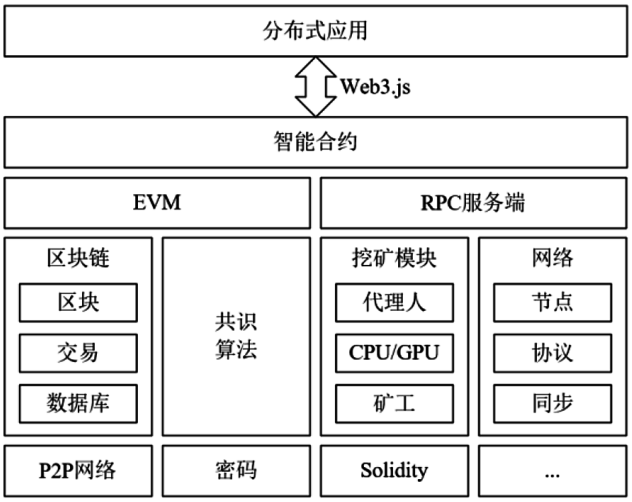


图 2 以太坊框架

Fig.2 Ethereum framework

2 系统模型和设计目标

2.1 系统模型

系统模型如图 3 所示,其拥有系统开发者、系统维护者、内容生产者、流量购买者以及内容阅读者等五类主要角色。系统的更新与管理,由全体参与者投票决定,每个人的投票权重将依据获得利润与活跃度动态调整。具体而言,每类角色如下:

(1)系统开发者:持续为系统更新。更新内容将由投票确认;用户调用新功能时会向开发者转取一定的虚拟货币,开发者以此来获得收益。

(2)系统维护者:为系统提供算力,让系统持续的运行,每出一个区块,系统会铸造新的虚拟货币给维护者。

(3)内容生产者:为社交网络提供作品,吸引流量的群体。他们可以通过出售自己区域的广告位来获取虚拟货币,以此获取收益。

(4)流量购买者:使用从开发者、维护者、内容生产者或阅读者手中购买的虚拟货币兑换流量服务。

(5)内容阅读者:从平台获取信息的用户。平台为阅读者提供一个以关键词为主题的交流社区,准确把握用户需求,为兴趣而生。让那些对同一个话题感兴趣的人们聚集在一起,更加方便地展开交流和互相帮助。

(6)参与者:对系统更新是否生效而进行投票的所有群体。

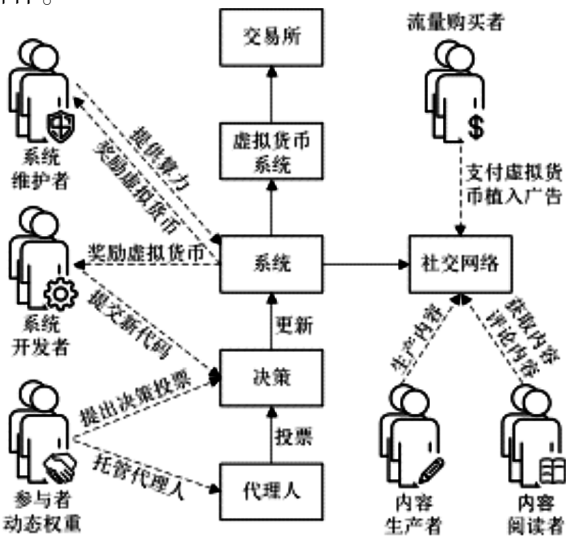


图 3 系统模型

Fig.3 System model

2.2 设计目标

设计一个基于以太坊的社交网络平台,为社交网络上的参与者提供一个团体自治的社交网络环境,具体主要目标如下:

去中心化。搭建一个去中心化的社交网络平台,解决传统中心化社交网络封闭、单点瓶颈、权限集中等实际问题。

可身份认证。采用以太坊公有链技术,其去中心化技术导致用户匿名性,不便管理。为此,需要对用户的身份进行认证,以此杜绝有不良企图的用户,随意创建并发布不良信息。

节约 gas。gas 是指调用合约运行时需要支付的以太币,支付的 gas 将会直接销毁。如果一个合约运行需要的 gas 值太高,系统可能会无法部署,因为以太坊网有最高 gas 的限制,gas 值太大会影响系统的性能。以太坊中的 gas 控制机制既是为了平台的资源考虑,也是对用户成本的一种保护。在本文方案设计中,为了优化代码, 减少系统运行花费以及提高运行效率,有必要尽可能的减少程序 gas 的消耗。

3 基于以太坊的社交网络设计方案

针对系统整体框架和系统主要功能模块展开描述,给出具体的设计方案。

3.1 设计目标

3.1.1 系统物理架构

系统物理架构如图 4 所示[12],使用基于区块链技术的分布式架构,不限制加入群体,任何人都可以使用设备自建属于自己的社交网络,或是加入他人的社交网络。每个维护者负责运行一个以太坊区块链的共识节点,各维护者可以利用初始化信息以特定的配置加入到区块链公有链网络,以区块链地址作为各个用户的唯一标识。之后维护者又将在自己的设备上配置 web 服务, 为阅读者提供前端服务用以连接区块链网络。若需要控制用户注册,合约发布可将监管机构纳入为注册系统的管理员。

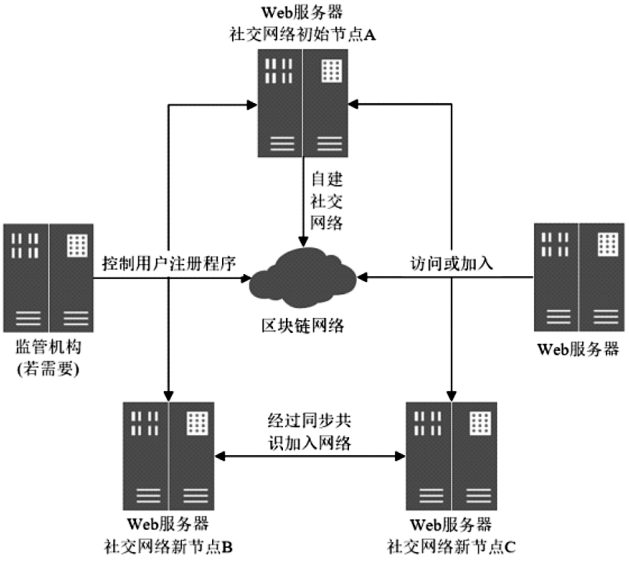


图 4 系统物理架构

Fig.4 System physical architecture

3.1.2 系统逻辑架构

通常去中心化应用(DAPP)由 HTML 页面、前端 JavaScript、web3.js 库以及以太坊区块链组成, 这种最简单的 DAPP 架构虽然能满足区块链应用的基本需求,但是需要前端做很多的逻辑处理,也不能让阅读者在不需要连接区块链网络的前提下访问区块链网络的数据。所以本文对其进行优化,提出了一种四层架构的程序框架,如图 5 所示:

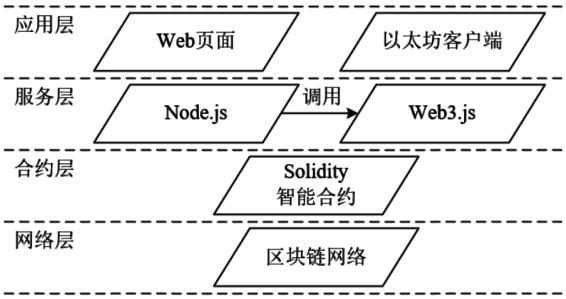


图 5 系统逻辑架构

Fig.5 System logical architecture

网络层是实现分布式网络的以太坊底层技术,运用区块链技术来保证分布式应用的信任问题。

合约层使用 Solidity 编写智能合约, 完成各项功能控制,实现区块链数据的存取。

服务层为用户提供 web 交互和区块链信息交换服务。为了让内容阅读者无需在客户端直接连接区块链网络, 本文方案在服务端通过 Node.js 调用 web3.js 与区块链进行交互, 而服务端直接连接着区块链网络,也将大大提升访问速度。在服务层中,Node.js 是提

供服务的核心,支撑着整个平台的运行。

应用层提供用户接口,用以实现对数据的存储与修改。通过 web 界面直接与用户进行交互。

3.2 系统功能模块设计

经过需求分析,系统功能模块总体结构如图 6 所示,包含了类贴吧社交模块,广告模块,系统更新模块和虚拟货币交易模块等。社交模块为用户提供社交服务;广告模块为内容创作者与流量购买者提供流量交易服务;投票模块为系统提供一个投票更新的功能;交易模块可以让用户出售虚拟货币提现。

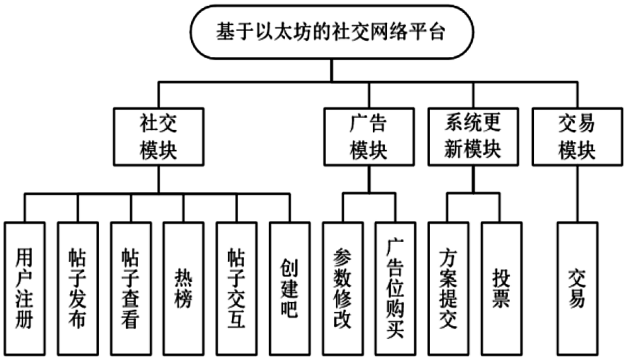


图 6 系统功能模块结构

Fig.6 System function module structure

3.2.1 社交网络模块

社交网络模块是整个系统正常运行的重要基础,使用前用户必须先注册。他包含了身份认证、用户注册、信息发布和热榜等功能。整个模块内部交互设计如图 7 所示。

(1)认证注册(可选)。监管部门审核用户信息后,更新链上验证码并发送给用户。用户注册限制是防范社交网络被滥用的重要功能。

(2)用户注册。为用户创建初始存储数据库,保存用户认证数据(加密形式),仅监管部门能够查阅。

(3)创建吧。创建一个新的、以某个关键词为话题的社区,并初始化信息。

(4)创建帖子。发布带有言论的帖子,寻求帮助或者分享信息。其真实存储在用户存储数据库中,其他地方只记录其所在地,这样便于维护。

(5)评论(同创建帖子)。在创建帖子的基础上,将自己的存储地址紧跟在母贴评论区后,并将母贴地址存储到自己的数据库中。评论的存储地位等同于帖子,相对于一个新帖子,多了母贴信息。

(6)点赞、踩等计数操作。帖子中带有一个记录某些操作次数的存储,用于统计上热榜。

(7)热榜计算。依据帖子中单位时间的操作次数衡量热度。

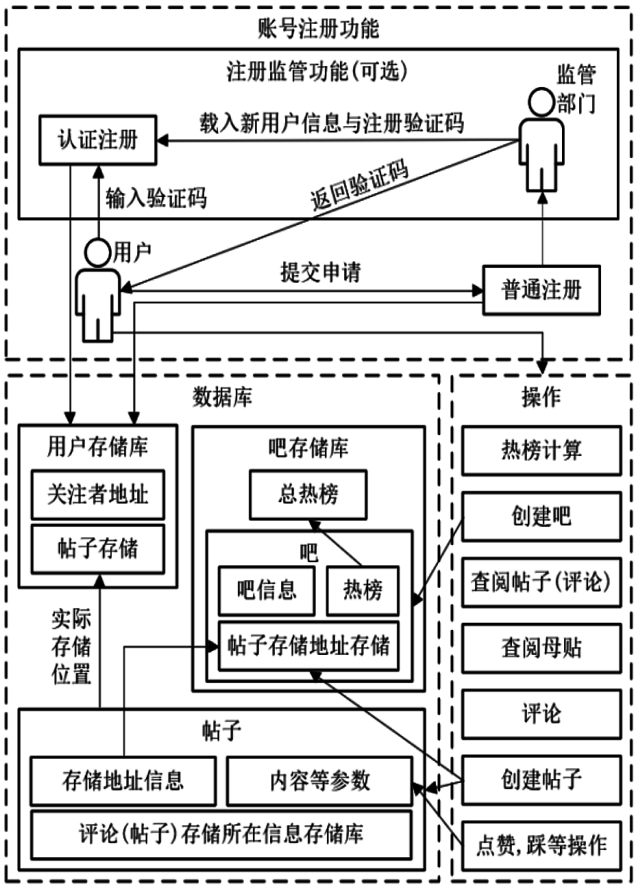


图 7 社交网络模块

Fig.7 Social network module

3.2.2 广告模块

为了吸引更多的内容生产者与资金,广告模块可让内容生产者兑现自己的流量。广告模块如图 8 所示。

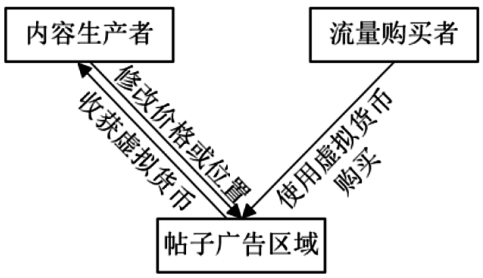


图 8 广告模块

Fig. 8 Advertisement module

内容生产者根据自己的流量,对帖子设置可购买的区域与价格。流量购买者使用虚拟货币购买即可获得该区域编辑权限。

3.2.3 系统更新模块

为让系统可以去中心化的形式迭代更新，如图 9 所示，使用投票形式通过更新方案。开发者以决策形式提交优化或新功能代码，被更新并入系统后，系统会以虚拟货币作为奖励发送给开发者。参与者/代理人也可以提出决策，并且对决策进行投票，投票通过后更新并入系统。

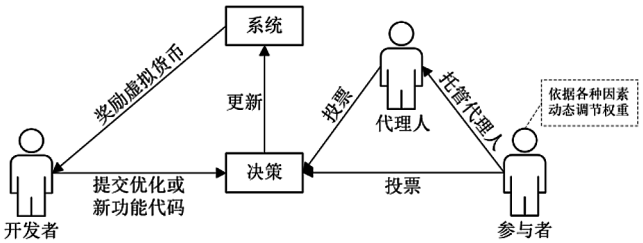


图 9 系统更新模块

Fig.9 System update module

3.2.4 交易模块

每个吧都将发布一个代币，代币与维护系统的货币关联交易。为实现去中心化的交易，本文借鉴 Uniswap 运行机制[13]，设计一款为社交媒体平台代币交换的交易所。

Uniswap 是一个解决 eth 以及衍生代币快速交易的去中心化交易所。方案与 uniswap 不同的是，新代币上架，会有一段时间的锁定，该期间会以 eth 的权益为主，初始化 eth 与代币间的流动性代币总量；锁定结束时，会以代币价值最低比例为初始价值，随后将其存储为初始流动性资金，并且以这个参考值，开启代币间交易配对。若有人交易，则向流动性提供者交手续费。因为以 eth 的权益为主，所以杜绝新代币产生出现的虚假价值比例。

依据以下算法结算交换 eth/代币数量：

$$xy=z$$

其中：x 和 y 是两种代币的存储量，交易时，z 是一个固定值。进行交易时，当用户使用 x 换取 y 代币，则 z 值固定，其可交换数量算式如下：

$$y_{\text{可换取的值}}=y-\frac{z}{x+x_{\text{兑换的币量}}} \tag{1}$$

交易完成后，x 与 y 的比值会变化，当这个比值变化较大并出现利差时，就会有人为挣这个利差，反向交易以平衡这个交换比例。以此就能实现一个去中心化代币交易所，并解决过去交易所存在的快速交易问题。

4 关键技术解决方案

本节将对社交网络平台设计过程中遇到的关键问题的解决方案进行说明，主要包括区块链上的身份认证注册、热榜函数设计、合约数据存储设计等。

4.1 身份认证注册

为了防止滥用社交网络，本文设置了注册限制功能。当用户提交身份信息给监管部门时，监管部门只有审核通过后，才同步链上的验证码，并将验证码发送给用户。

对于链上验证码的验证方式，因为以太坊的算力需要消耗 gas，而逐字对比将会消耗大量的 gas，为此，根据参考文献[14]，如图 10 所示采用验证码哈希值对比的方式来进行验证。

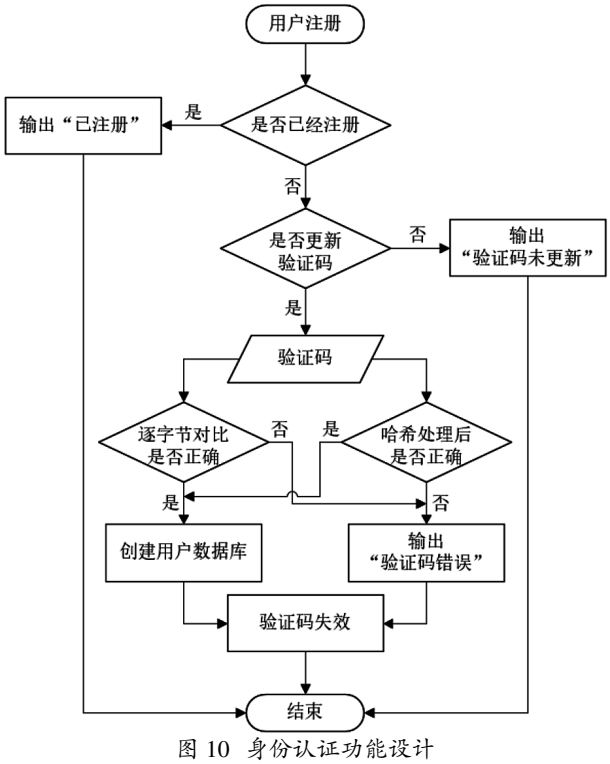


图 10 身份认证功能设计

Fig.10 Design of identity authentication function

4.2 帖子存储设计

由于一个帖子包含多种信息，而且可能在吧、用户、母贴以及热榜中都有副本，此外智能合约语言 Solidity 和 C 语言不同，不能使用指针方式直接调取，因此这导致帖子存储资源的消耗会花上好几倍。以太坊上的存储资源和算力一样都是珍贵的，权衡利弊，本文设计了一种存储方法用算力来换取存储资源，如

图 11 所示。

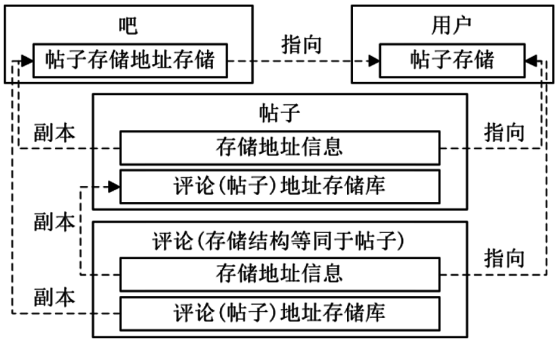


图 11 帖子存储结构

Fig.11 Post storage structure

帖子的原本存储在用户中,其他副本中都只存储帖子的地址信息,当用户访问副本时,需要跳转访问到帖子的原本,这样每次访问原本,只需要多一次访问算力,就能节省所有副本的存储资源。

4.3 热榜函数设计

为了让用户拥有更好的社交体验,本文增加了热榜功能。任何对帖子的操作都会触发热榜函数,为帖子添加热度。为了节省算力资源,只有达到一定的间隔时间,才会与热榜中的帖子进行对比,进行替代操作。热榜函数设计如图 12 所示。

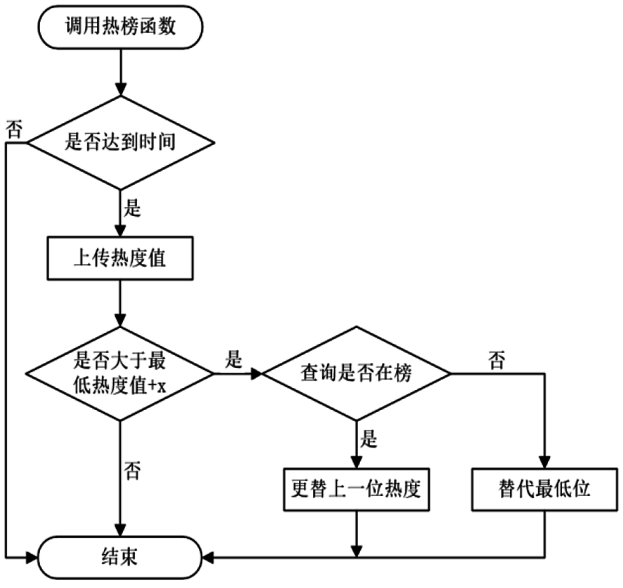


图 12 热榜函数设计

Fig.12 Hot list function design

热榜函数设计中, 最重要的问题就是热度值的计算,改进基于用户投票的排名算法 hacker news[15]。设 P 表示总投票数,T 表示发布至今的时间间隔,G 表示重力加速度,它的数值大小决定了排名随时间下降的速度快慢。根据 hacker news 得到热度值:

$$Score_1=\frac{P}{(T+2)^G} \tag{2}$$

设 Δt 表示单位时间,C_i 表示各种操作参数 (例如点赞,评论等),Q 表示权重比,越小权重越大。

单位时间内操作的热度值为:

$$Score_2=\frac{\Delta(P-1)}{\Delta t} \tag{3}$$

其中:$P=\frac{(C_1-1)}{Q_1}+\frac{(C_2-1)}{Q_2}+\cdots+\frac{(C_n-1)}{Q_n}$。因此,综合起来,热度值计算为:

$$\begin{aligned} Score&=Score_1+kScore_2\\ &=\frac{(P-1)}{(T+2)^G}+k\frac{(P-1)}{\Delta t} \end{aligned} \tag{4}$$

其中:k 为调节 $Score_1$ 与 $Score_2$ 的权重比。Hacker news 算法可以防止热度较高的文章一直处于前列,而埋没新内容。但也可能会导致部分热点文章在某一个时间点才备受关注,所以添加以平衡这种情况。

4.4 智能合约与数据存储设计

将全部数据都上链,完全实现去中心化,需要使用智能合约将数据写入区块链中,本节对智能合约数据和相关操作函数进行设计。

4.4.1 智能合约数据设计

为实现去中心化,程序中使用的所有数据都将以 storage 状态存储在区块链当中。智能合约相关主要数据设计如表 1 所示。

表 1 智能合约数据设计表

Tab.1 Smart contract data structure

变量名称	描述	包含内容
post_info	帖子地址信息结构体	在用户库存储的地址, 在吧中存储的地址,母贴的地址。
option_info	点赞等操作次数结构体	对应账号是否操作过的 flag 数据库,操作次数。
post	帖子结构体	帖子地址信息,内容,点赞等操作次数, 评论区(post_info 数组)。
bar_post_storage	吧结构体	吧信息,帖子地址存储库。
bar_storage	由关键词映射到吧	
user_of	用户数据库结构体	拥有者,帖子存储库
user_strorage	由钱包地址映射到账号库	
hotlist_post	热榜存储	post_info 数组

表 2 智能合约函数设计表

Tab.2 Smart contract functions

函数名称	参数	描述
check_register()	无	检测是否已注册
user_check_change()	验证码	更新注册验证码
register()	验证码	注册用户
create_bar()	吧名	创建某关键词为主题的社区
create_post()	吧名,帖子内容	创建帖子
create_post_comment()	帖子地址,评论内容	创建评论
view_bar_post()	吧名,帖子序号	以吧数据库查帖子
view_user_post()	用户账号,帖子序号	以用户数据库查帖子
view_post_comment()	吧帖子地址,评论序号	以吧帖子查评论
view_user_comment()	用户帖子地址,评论序号	以用户帖子查评论

表 1 中列出设计的帖子、吧、用户等 5 个结构体,以及与其中部分结构体相关联的 2 个映射。在智能合约中结构体和映射都以 storage 类型存储,并直接存储在区块链中。

4.4.2 智能合约函数设计

智能合约函数可实现对数据的访问与修改,本文方案的主要智能合约函数如表 2 所示。通过这些智能合约函数,方案可以实现所需的各项功能。

5 实验测试与分析

对提出的方案进行实验测试,包括功能测试和性能测试,以及相关分析。

5.1 实验环境搭建

系统原型开发全部在 Linux 上进行,具体环境配置如表 3 所示。以太坊以公有链方式发布,也可以搭建私有链和联盟链,本文采用的是搭建公有链的方式[16-17]。

表 3 开发环境配置

Tab.3 Development environment configuration

项目	工具及版本
操作系统	Ubuntu 20.04.2 LTS
以太坊客户端	Geth1.9.25
服务器模块	Node.js v10.19.0
服务端编程框架	Express

测试环境如表 4 所示:

表 4 测试环境配置

Tab.4 Test environment configuration

测试环境或工具	配置
操作系统	Win10
区块链	JavaScript VM
浏览器	Chromium
硬件	I7 - 8550u 16G
智能合约测试 IDE	Remix 0.11.5

5.2 实验测试与分析

5.2.1 功能测试

对于智能合约的测试,使用以太坊官方开源的 Solidity 在线集成开发环境 Remix 完成。以注册功能为例,图 13 展示在 Remix 中对智能合约的测试结果。在图 13 中,在功能测试区输入所需的参数,点击函数名称或 transact 按钮即可执行函数。对于 user_check_change()验证码更新功能,只有监管部门账号才能调用,用户再使用更新的验证码并调用 register()函数才能完成注册,如果验证码错误会报错并重置,以此杜绝暴力破解攻击。如果注册成功,则返回注册信息(用户账号与 id),如图 14 所示。可见,合约已经按照我们在合约定义的“event”输出注册时提交的一些信息,便于我们确认区块链中进行写操作的执行情况。该 event 将会被 web3 发起交易执行时提取到 Node 对象中,进而再通过页面展现给用户,使操作可视化。

图 13 测试智能合约里的函数

Fig.13 Testing smart contract functions

图 14 智能合约执行时控制台输出

Fig.14 Console output

对于成员注册、创建吧、发布帖子、帖子点赞等功能,测试用例及测试结果如表 5 至表 8 所示。

表 5 成员注册功能测试

Tab.5 Member registration function test

项目名称	基于区块链的社交网络平台		
测试功能	用户注册功能		
测试目的	验证用户注册功能是否正常		
测试用例	输入情况	期望结果	实际结果
1	验证码输入错误	交易错误,提示验证码错误。	符合预期
2	用户账号已经注册	交易错误,提示用户已注册	符合预期
3	验证码未更新或验证码错误后重新尝试	交易错误,提示验证码未更新或只允许尝试一次,需要重新获取。	符合预期

表 6 创建吧功能测试

Tab. 6 Creating bar function test

项目名称	基于区块链的社交网络平台		
测试功能	创建吧功能		
测试目的	验证创建吧功能是否正常		
测试用例	输入情况	期望结果	实际结果
1	用户未注册	交易错误,提示用户未注册	符合预期
2	吧已存在下再次运行创建功能	交易错误,提示吧已存在	符合预期

表 7 发布帖子功能测试

Tab.7 Posting function test

项目名称	基于区块链的社交网络平台		
测试功能	发布帖子功能		
测试目的	验证发布帖子的功能是否正常		
测试用例	输入情况	期望结果	实际结果
1	用户未注册	交易错误,提示用户未注册	符合预期
2	输入类型/数量错误	交易失败,提示参数输入错误	符合预期

表 8 帖子点赞等计数操作功能测试

Tab.8 Count function test

项目名称	基于区块链的社交网络平台		
测试功能	点赞等计数操作功能		
测试目的	验证点赞等计数操作功能是否正常		
测试用例	输入情况	期望结果	实际结果
1	用户未注册	交易错误,提示用户未注册	符合预期
2	操作已实现下再次运行计数操作	交易错误,提示每个用户只记录一次计算。	符合预期

5.2.2 性能测试与分析

为了减少 gas 消耗,对不同的字符串验证方式所消耗的 gas 值进行对比。这里提供四种不同的字符串验证方式:方式 1:逐字对比;方式 2:先对比字符串长度再用方式 1;方式 3:哈希值对比;方式 4:先对比字符串长度再用方式 3。表 9 给出了不同字符串验证方式 gas 消耗对比,使用 remix 可直接测试查看运算消耗 gas 的差异。从表 9 可以看出,直接使用方式 1 进行哈希值对比在大部分情况下表现最优,但如果在实际验证情况中,长度不等情况占大多数,则使用方式 2 更优。但方式 2 存在一定的安全问题,攻击者可能通过多次测试与对比 gas 消耗来猜出验证字符的长度。所以权衡各方面利弊下,本文选择方式 1。

6 结束语

现阶段社交网络平台依赖中心化管理,容易受到单点瓶颈限制,并存在中心化管理者篡改用户数据、控制舆论导向,侵害用户权益的问题。针对这些问题。本文将具有去中心化、可追溯等特性的区块链技术引入社交网络平台,提出了一种基于以太坊的社交网络

表 9 不同字符串验证方式 gas 消耗对比

Tab.9 Comparison of gas consumption of different string authentication methods

测试字符串		gas 消耗值				常规消耗	减去常规消耗			
输入 A	输入 B	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4		方式 1	方式 2	方式 3	方式 4
a	a	24100	24165	23857	23931	23771	329	394	86	160
ab	ab	24453	24518	23881	23955	23795	658	723	86	160
abc	abc	24806	24871	23905	23979	23819	987	1052	86	160
Abcdefghijklm nopqrstuvwxyz	Abcdefghijklm nopqrstuvwxyz	32925	32990	24457	24531	24371	8554	8619	86	160
Abcdefghijklm Nopqrstuvwxyz	Abcdefghijklm nopqrstuvwxyz	28804	28869	24457	24531	24371	4433	4498	86	160
abcdefghijklm	Abcdefghijklm nopqrstuvwxyz	28492	24255	24301	24277	24215	4277	40	86	62

平台设计方案。我们利用以太坊、智能合约与现有虚拟货币交易所实现了分布式的社交网络平台。设计身份认证方案实现对滥发不良信息用户的管理。设计基于投票的监管机制,解决中心化管理单点瓶颈限制的问题。设计基于热榜函数的“评价-流量兑现”双模式激励机制,确保用户发布良好信息的收益高于发布恶意信息。方案的安全管理不再依赖于中心化管理者。系统原型测试与分析表明方案的可行性和有效性。

参考文献:

[1] 华经产业研究院. 社交网络行业现状及用户分析, 用户群体泛化,消费能力升级 [EB/OL]. (2022-01-24)[2023-03-10]. https://caifuhao.eastmoney.com/news/20220124132404446928660.

[2] NAKAMOTO S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system [J]. Decentralized business review, 2008: 21260.

[3] WOOD G. Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger [J]. Ethereum project yellow paper, 2014, 151:1-32.

[4] ANDROULAKI E, BARGER A, BORTNIKOV V, et al. Hyperledger fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains[Z]. Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference. Porto, Portugal; Association for Computing Machinery. 2018,30: 1-15.10.1145/3190508.3190538.

[5] 蔡维德, 王荣, 何娟, 等. 分布式数字资产交易平台的问题与评估 [J]. 软件学报, 2022, 33(2): 410-33.

[6] 吴艳华. 区块链在农产品供应链中的发展探究 [J]. 农业经济, 2022, 428(12): 126-8.

[7] 张宁熙. 区块链技术发展综述及其政务领域应用研究 [J]. 信息安全研究, 2020, 6(10): 910-8.

[8] Ethereum Whitepaper [EB/OL]. (2023-02-30)[2023-02-30]. https://ethereum.org/zh/whitepaper/.

[9] DEEPA N, PHAM Q-V, NGUYEN D C, et al. A Survey on Blockchain for Big Data: Approaches, Opportunities, and Future Directions [J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 131: 209-26.

[10] HUO R, ZENG S, WANG Z, et al. A Comprehensive Survey on Blockchain in Industrial Internet of Things: Motivations, Research Progresses, and Future Challenges [J]. Ieee Communications Surveys and Tutorials, 2022, 24(1): 88-122.

[11] 刘子昂, 黄缘缘, 马佳利, 等. 基于区块链的医疗数据滥用监控平台设计与实现 [J]. 信息网络安全, 2021, 21(5): 58-66.

[12] 李文艳. 基于区块链的设备维修资源平台设计与实现 [D]. 华南理工大学, 2020.

[13] Uniswap Whitepaper[EB/OL].(2020-08)[2023-03-10].https://uniswap.org/whitepaper.pdf.

[14] Solidity 两个 string 的比较 [EB/OL]. (2018-08-20)[2023-03 -10].https://blog.csdn.net/xiaomei1xiake2/article/details/81868317.

[15] 阮一峰. 基于用户投票的排名算法 (一):Delicious 和 Hacker News[EB/OL]. (2012-02-24)[2023-03-10]. http://www.ruanyifeng.com/blog/2012/02/ranking_algorithm_hacker_news.html.

[16] 吴寿鹤, 冯翔, 刘涛,等. 区块链开发实战:以太坊关键技术与案例分析 [M]. 北京; 机械工业出版社. 2018: 125-30.

[17] 李宁. 第一行代码:以太坊 [M]. 北京:中国水利水电出版社. 2018: 71-80.

Ethereum Based Social Network Platform Design Scheme

WANG Hua[1,3], DAI Jiancheng[1,3], XU Li[2,3]

(1. School of Digital Information Engineering, Minjiang Teachers College, Fuzhou, Fujian 350117;
2. College of Computer and Cyber Security, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117;
3. Fujian University Applied Engineering Centre for Internet of Things, Fuzhou, Fujian 350117)

Abstract: Designing an identity authentication scheme to manage the users who send inappropriate information, designing a voting based regulatory mechanism to address the bottleneck limitation of centralized management at a single point, and designing a "evaluation traffic cashing" dual mode incentive mechanism based on the hot list function to ensure that users earn more from publishing good information than from publishing malicious information. The security of the solution no longer relies on centralized managers. Considering the system performance, this paper optimized the post storage design. The prototype testing and analysis of the system demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed scheme.

Key words: block chain; Ethereum; decentralization; social networks; smart contracts

(责任编辑:马阿曼)

7 种茶树叶片高温失水过程中水分–光合指标变化及抗旱性评价

黄薇[1,2]，李婧[2]，鄢朝俊[2]，李焰焰[2*]

（1. 福建农林大学 园艺学院，福州 350002；2. 武夷学院 茶与食品学院，武夷山 354300）

摘　要：以 7 个茶树品种为研究对象，模拟茶树叶片高温干旱失水过程，观测其叶片水分（相对含水量 RWC、失水率 RWL、自然饱和亏 WSD）、叶绿素含量、叶绿素荧光参数等指标变化。结果表明，茶树叶宽、叶面积和叶片指数与 RWL 显著负相关。7 种茶树叶片对高温失水反映迅速，在 1~2 h 内 RWC、RWL 迅速上升，WSD 下降，肉桂、水仙保水能力较优，金观音最弱。光合色素含量测定表明，7 个茶树品种的 Chla 含量处于同一水平（30.07~30.74 mg/L），而 Chlb 在品种间差异显著（11.78~28.56 mg/L），高温失水 0~2 h 内叶绿素总量除水仙外均下降。茶树叶绿素荧光参数变化对高温失水逆境的反映迅速，主要集中在 0~3 h 内：Y(II)在 0~2 h 内下降、2~3 h 间上升。茶树的光合色素与叶绿素荧光参数间有相关性，并且在正常条件下和高温失水时（3 h）的相关性存在差异。采用隶属函数值法对以上三类指标的综合评价得出，7 个茶树品种在高温失水条件下的叶片综合性能表现从强到弱为：肉桂>九龙袍>丹桂>毛蟹>金观音>水仙>奇兰。

关键词：茶树；水分指标；叶绿素荧光参数；抗旱性

中图分类号：S571.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674–2109(2023)09–0023–07

茶树（*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze）起源于中国，是重要的经济作物，对我国特色农业和茶文化传承具有重要意义[1]。茶树是多年生常绿木本植物，喜温暖湿润气候，年降雨量需达到 1 000 mm，而我国茶叶多个产区夏秋气温高，水分蒸发量大，空气湿度低，易造成伏旱和秋旱[2]。大量研究表明，高温干旱严重的影响了茶树的生长发育，导致茶叶的产量和质量的下降，造成较大的经济损失[3-5]。

使用茶树抗旱性的综合评价，能弥补和缓和单个指标对评定抗旱性的片面性，从而使评定结果与实际结果更为接近[6]。汤肖玮[7]通过对茶用菊干旱和涝渍胁迫，基于隶属函数值的聚类分析将供试材料分为 4 个抗旱类型和 4 个耐涝类型，并筛选出 7 份抗旱种质和 5 份耐涝种质。郝西[8]以 6 个花生品种为研究材料，通过 PEG–6000 模拟干旱胁迫对不同花生品种生长发育及生理指标的影响，根据综合隶属函数值分析得出豫花 9326、豫花 15 的抗旱性较强，花育 34、ST001、远杂 9847 的抗旱性一般，湘花 2008 抗旱性较差。徐淑萍[9]、沈思言[2]采用隶属函数值法，得到了多个茶树品种的光合能力、耐旱性综合分析结果。

本研究以武夷学院茶山基地栽培的 7 个茶树品种为对象，对叶片离体失水过程中的叶片形态、水分含量、光合色素、叶绿素荧光参数等指标进行测定，分析叶片形态、水分、光合特性各指标间的相关性，并采用模糊数学中的隶属函数法，对 7 种茶树在高温失水条件下的叶片保水、光合等综合性能进行分析比较，以期对茶树种质资源信息及抗旱育种提供一定的理论参考。

收稿日期：2022–08–25

基金项目：福建省自然科学基金项目（2020J01405、2022J011198）；福建省一流专业（SJZY2020002）；武夷学院引进人才科研启动项目（YJ201904，YJ202003）。

作者简介：黄薇（1998–），女，在读研究生，主要从事农艺与种业的研究。

通信作者：李焰焰，博士，主要从事园艺学相关研究。

1 材料与方法

1.1 材料

研究地点位于武夷学院茶山基地,该地区年平均气温 17.9 ℃, 降水量约为 2 000 mm, 平均相对湿度 80%[10]。实验材料为武夷学院茶树种质资源圃保存的 7 个茶树品种:水仙、毛蟹、肉桂、丹桂、金观音、奇兰、九龙袍。

1.2 方法

供试材料选取武夷山茶树基地长势较一致的一年生茶树,取茶树顶端三片完全展开叶,设定烘箱温度为 40 ℃,对茶树叶片进行 0、1、2、3、4、5 和 6 h 的离体模拟高温失水干旱处理,0 h 为对照, 共 7 个处理,每次处理结束后立即测定叶片叶绿素含量及叶绿素荧光参数值,每个指标进行 3 次生物学重复测定。

1.2.1 叶片形态及水分指标

叶形态指标选用数显游标卡尺测量叶片的叶长 a、叶宽 b,计算叶片面积 S=0.754 6 ab、叶片指数=a/b。水分指标测定项目及计算公式如下[11-13]:

相对含水量(relative water content, RWC)=[(鲜重-烘(时间)重)/(饱和鲜重-烘(时间)重)]×100%

失水率 (rate of water loss, RWL)=[(鲜重-烘 (时间)重)/(鲜重-烘至恒重)]×100%

自然饱和亏 (water-saturated deficit, WSD)= [(W_t - W_f) /(W_t - W_d)]× 100%

称叶片鲜质量 W_f, 将其浸入蒸馏水中使叶片充分吸水至饱和状态,得其质量 W_t;再将样品烘干得干质量 W_d。

1.2.2 叶绿素含量

采用丙酮浸提-比色法测定, 分别计算叶绿素 a (chlorophyll a)、叶绿素 b(chlorophyll b)、叶绿素总量(chlorophyll)[14]: Chla(mg/L)=12.7A_{663}-2.69A_{645}、Chlb(mg/L)=22.9A_{645}-4.68A_{663}、ChlT(mg/L)=Chla+Chlb=20.2A_{645}+8.02A_{663}。

1.2.3 叶绿素荧光参数

用德国 Walz 公司的 PAM 便携式调制叶绿素荧光仪,按仪器使用说明测定以下指标:叶绿素初始荧光 F_0、最大荧光 F_m、PSII 的实际光合效率 Y(II)、光化学荧光淬灭系数 qP、非光化学淬灭系数 NPQ、PSⅡ的最大光合效率 F_v/F_m 等[9]。

1.2.4 综合评价

用模糊数学中的隶属函数值法[15],选取以上三类指标中的 RWC、RWL、WSD、Chla、Chlb、ChlT、F_0、F_m、qP、NPQ、Y(II)、F_v/F_m12 个指标进行综合评价。

隶属函数值计算公式:

$$R(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$$

式中 X_i 为指标测定值,X_{min}、X_{max} 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。

如果为负相关,则用反隶属函数进行转换,计算公式为:

$$R(X_i)=1-(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$$

1.3 数据处理

采用 SPSS 26 软件进行方差分析和相关性分析,采用 Excel 2003 软件制作表格[16]。

2 结果与分析

2.1 茶树叶片形态指标及水分指标分析

7 种茶树叶片形态指标方差分析表明,水仙、奇兰的叶长、叶宽、叶面积均显著高于其余 5 种,丹桂最小,九龙袍的叶片指数显著高于其余 6 种,叶型最为狭长($P<0.05$)(表 1)。

水分利用率是评价植物耐旱性强弱的重要指标[17]。测定数据表明(表 2),随处理时间的延长,叶片失水加剧,7 种茶树叶片的相对含水量、叶片失水率均呈上升趋势,而水分饱和亏缺(WSD)均下降趋势,且皆在处理 1-2 h 时间段内的变幅最大,说明这 7 种茶树对高温失水反映迅速,均能耐受一定程度的高温干旱。其中肉桂的 RWC 变化最小(7.55%),表明其对干旱的耐受力在 7 种茶树中最强,在处理 0-3 h 内,水仙 RWL 的上升速率最低,金观音的最大,处理 6 h 后 7 种茶树叶片的 RWL 大小依次为金观音、肉桂、九龙袍、丹桂、毛蟹、水仙、奇兰;此时 WSD 值最小者是肉桂,仅 3.49%。综上,肉桂、水仙、奇兰受到的影响较小,保水能力较优,金观音最弱。

7 种茶树叶片形态与水分指标的相关分析表明:叶长、叶宽显著正相关,叶面积和叶长、叶宽极显著正

相关,WSD 与 RWC 极显著负相关,在高温胁迫下,茶树叶宽、叶面积和叶片指数与叶片失水率(RWL)显著负相关。

表 1 七种茶树的叶片形态参数

Tab.1 Leaf morphological parameters of seven tea trees

品种	叶长(mm)	叶宽(mm)	叶面积(mm^2)	叶片指数
奇兰	100.62±2.98ab	48.86±0.40a	3699.51±101.23a	2.06±0.063d
毛蟹	86.99±2.85c	42.67±1.64b	2793.18±167.62b	2.04±0.038d
九龙袍	96.70±2.85b	35.67±2.48c	2595.59±207.94bc	2.71±0.144a
金观音	75.92±0.49d	31.88±1.00cd	1821.30±49.43de	2.38± 0.078b
肉桂	81.19±3.81cd	34.91±1.25cd	2132.84±159.09cd	2.33±0.028bc
水仙	109.26±3.69a	49.74±2.80a	4089.53±316.19a	2.10±0.083bcd
丹桂	63.26±2.11e	30.18±0.51d	1436.67±61.85e	2.10±0.047cd

注:表中数据为 3 次重复平均值±标准差,同列数据后标不同小写字母表示不同品种间数值差异显著(P<0.05)。

表 2 七种茶树叶片 RWC、RWL、WSD 随高温失水时间变化情况

Tab.2 Changes of RWC、RWL and WSD of seven tea leaves with water loss time at high temperature

指 标	品种	1h	2h	3h	4h	5h	6h
RWC	肉桂	0.87±0.02c	0.91±0.01bc	0.93±0.01bc	0.94±0.01bc	0.95±0.01bc	0.95±0.01bc
	奇兰	0.86±0.03c	0.92±0.02c	0.94±0.01c	0.95±0.01c	0.96±0.01c	0.96±0.01c
	毛蟹	0.79±0.04abc	0.85±0.03ab	0.88±0.02ab	0.90±0.02a	0.91±0.02a	0.96±0.02a
	水仙	0.73±0.03a	0.84±0.02a	0.89±0.02ab	0.91±0.01ab	0.92±0.01ab	0.93±0.01ab
	丹桂	0.83±0.00bc	0.89±0.00abc	0.92±0.00abc	0.93±0.00abc	0.94±0.00abc	0.95±0.00abc
	九龙袍	0.80±0.03abc	0.86±0.03ab	0.89±0.02ab	0.91±0.02ab	0.92±0.02ab	0.93±0.01ab
	金观音	0.76±0.01ab	0.85±0.01a	0.88±0.01a	0.90±0.01a	0.91±0.01a	0.92±0.01a
RWL	肉桂	0.20±0.02c	0.31±0.01cd	0.41±0.01bc	0.49±0.00bc	0.55±0.00bc	0.60±0.01bc
	奇兰	0.12±0.01a	0.21±0.02ab	0.30±0.03a	0.36±0.04a	0.42±0.05a	0.47±0.05a
	毛蟹	0.17±0.01bc	0.27±0.01bc	0.35±0.01ab	0.41±0.02ab	0.46±0.02ab	0.50±0.02ab
	水仙	0.10±0.01a	0.19±0.02a	0.28±0.03a	0.35±0.04a	0.41±0.04a	0.46±0.04a
	丹桂	0.16±0.02b	0.26±0.03bc	0.36±0.04ab	0.44±0.05ab	0.50±0.05abc	0.55±0.06abc
	九龙袍	0.17±0.00bc	0.27±0.00bc	0.36±0.00ab	0.44±0.01ab	0.51±0.01abc	0.56±0.01abc
	金观音	0.20±0.01bc	0.34±0.02d	0.45±0.02c	0.54±0.02c	0.61±0.03c	0.67±0.03c
WSD	肉桂	0.13±0.02a	0.09±0.01ab	0.07±0.01ab	0.06±0.01ab	0.05±0.01ab	0.05±0.01ab
	奇兰	0.14±0.03a	0.08±0.02a	0.06±0.01a	0.05±0.01a	0.04±0.01a	0.04±0.01a
	毛蟹	0.21±0.04abc	0.15±0.03bc	0.12±0.02bc	0.10±0.02c	0.09±0.02c	0.08±0.02c
	水仙	0.27±0.03c	0.16±0.02c	0.11±0.02bc	0.09±0.01bc	0.08±0.01bc	0.07±0.01bc
	丹桂	0.17±0.00ab	0.11±0.00abc	0.08±0.00abc	0.07±0.00abc	0.06±0.00abc	0.05±0.00abc
	九龙袍	0.20±0.03abc	0.14±0.03bc	0.11±0.02bc	0.09±0.02bc	0.08±0.01bc	0.07±0.01bc
	金观音	0.24±0.01bc	0.15±0.01c	0.12±0.01c	0.10±0.01c	0.09±0.01c	0.08±0.03c

注:表中数据为 3 次重复平均值±标准差,同列数据后标不同小写字母表示相同时间下不同品种间数值差异显著(P<0.05)。

表 3 7 种茶树叶片形态与水分指标的相关分析

Tab.3 Correlation analysis between leaf morphological indexes and water physiological status of seven tea plants

指标	叶长	叶宽	叶面积	叶片指数	相对含水量	失水率	水分饱和亏缺
叶长	1	0.864*	0.948**	0.11	−0.18	−0.68	0.20
叶宽		1	0.975**	−0.41	−0.05	−0.820*	0.08
叶面积			1	−0.21	−0.10	−0.806*	0.13
叶片指数				1	−0.22	0.41	0.20
相对含水量					1	0.04	−0.999**
失水率						1	−0.07
水分饱和亏缺							1

注:* 表示在 0.05 水平(双侧)下显著相关,** 表示在 0.01 水平(双侧)下显著相关。

2.2 茶树叶片光合色素含量变化分析

光合色素含量变化直接影响植物光合能力[18]。测定结果表明(表 4):7 种茶树的 Chla 含量在 30.07~30.74 mg/L 之间,属同一水平,而 Chlb 变幅在 11.78~28.56 mg/L,品种间差异显著(P<0.05)。在失水 0~2 h 期间,7 种茶树叶绿素总量除水仙保持不变、毛蟹上升外,其余 5 种均下降、失水 3~6 h 期间,除金观音一直下降之外,其余 6 种茶树叶绿素总量均出现无规律波动。

表 4 7 种茶树叶片离体失水过程中的叶绿素含量变化(mg/L)

Tab.4 Changes of chlorophyll content in leaves of seven tea plants during water loss in vitro

品种	对照	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
水仙	45.87±0.13e	47.96±0.13d	45.78±0.18e	52.19±0.11c	54.59±0.15a	53.31±0.09b	54.71±0.13a
毛蟹	40.36±0.15g	46.28±0.14f	51.19±0.14d	56.86±0.11a	56.38±0.10b	48.89±0.16e	55.01±0.38c
肉桂	51.59±0.15e	50.78±0.13f	48.20±0.16g	53.06±0.17d	60.41±0.23a	54.93±0.13c	59.02±0.10b
丹桂	58.15±0.16a	52.76±0.15e	49.22±0.12f	53.49±0.09d	54.94±0.14c	56.84±0.24b	54.95±0.19c
金观音	49.94±0.13c	46.42±0.15e	46.41±0.14e	53.05±0.45a	51.41±0.15b	50.54±0.15c	48.91±0.18d
奇兰	59.15±0.22a	51.27±0.18d	46.91±0.17f	51.84±0.09c	48.66±0.13e	53.81±0.12b	45.40±0.12g
九龙袍	56.59±0.21a	49.50±0.15c	47.54±0.17d	53.90±0.72b	56.25±0.18a	56.25±0.18a	56.93±0.20a

注:表中数据为 3 次重复平均值±标准差,同列数据后标不同小写字母表示相同时间下不同品种间数值差异显著(P<0.05)。

2.3 茶树叶片叶绿素荧光参数变化分析

叶绿素荧光参数中,Y(II)表示植物光合作用电子传递的量子产额,是植物叶片光合电子传递速率快慢的重要指标[9]。实验结果表明(表 5):0~3 h 是茶树高温失水逆境下的重要反映期。多数茶树品种在叶片失水过程中,Y(II)的变化为 0~2 h 下降、2~3 h 上升、之后出现波动,但差异不显著。

表 5 7 种茶树叶片离体失水过程中的 Y(II)变化

Tab.5 Changes of Y(II) in leaves of seven tea plants during in vitro water loss

品种	对照	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
水仙	0.60± 0.03b	0.58± 0.03b	0.59± 0.01b	0.61± 0.02b	0.62± 0.03ab	0.69± 0.02a	0.61± 0.03b
毛蟹	0.65± 0.02ab	0.61± 0.01ab	0.59± 0.01b	0.68± 0.02a	0.65± 0.02ab	0.62± 0.03ab	0.68± 0.04ab
肉桂	0.64± 0.02a	0.62± 0.02a	0.59± 0.05a	0.68± 0.02a	0.61± 0.01a	0.62± 0.02a	0.59± 0.06a
丹桂	0.70± 0.01ab	0.69± 0.00ab	0.66± 0.01ab	0.65± 0.03ab	0.67± 0.03ab	0.59± 0.07a	0.59± 0.05a
奇兰	0.64± 0.02a	0.56± 0.02a	0.55± 0.06a	0.61± 0.02a	0.60± 0.08a	0.61± 0.06a	0.54± 0.10a
金观音	0.64± 0.02a	0.62± 0.03ab	0.60± 0.03a	0.62± 0.03a	0.58± 0.05a	0.61± 0.04a	0.57± 0.07a
九龙袍	0.65± 0.01a	0.64± 0.01a	0.61± 0.01ab	0.64± 0.01a	0.60± 0.02ab	0.53± 0.05b	0.59± 0.05ab

注:表中数据为 3 次重复平均值±标准差,同列数据后标不同小写字母表示相同时间下不同品种间数值差异显著(P<0.05)。

2.4 茶树叶绿素荧光参数与叶绿素含量的相关分析

为明确高温脱水逆境下植物的光合色素与叶绿素荧光参数有无直接关联,分别对正常条件下和叶片失水处理 3 h 两种情况下 7 种茶树的叶绿素含量与叶绿素荧光参数值进行相关分析,共选取 13 项指标(表 6)。结果表明,正常条件下(对照 0 h):F_0 和 Chla、Chlb、Chla+b 之间均极显著正相关,NPQ 与 qN 之间、qP 与 qL 之间、F_m 与 F_v 之间、F_v/F_0 与 F_v/F_m 之间也极显著正相关,qP 与叶绿素含量、F_0、NPQ 和 qN 之间、qL 与 NPQ 和 qN 之间、F_0/F_m 与 F_v/F_m 和 F_v/F_0 之间极显著负相关;叶片失水处理 3 h 时:极显著正相关的有:F_m 与 F_0、F_v、F_v/F_m、F_v/F_0 之间、qP 与 qL 之间、F_v 与 F_v/F_m、F_v/F_0 之间、F_v/F_m 与 F_v/F_0 之间;显著正相关的有:F_0 与 F_v 之间;极显著负相关的有:F_0/F_m 与 F_m、F_v、F_v/F_m、F_v/F_0 之间。

表 6 7 种茶树叶片荧光参数与叶绿素含量的相关性分析

Tab.6 Correlation analysis between fluorescence parameters and chlorophyll content in seven tea leaves

指标	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素	F_0	F_m	NPQ	qN	qP	qL	F_0/F_m	F_v	F_v/F_m	F_v/F_0
叶绿素 a		0.944**	0.988**	0.890**	0.444	0.408	0.417	−0.836*	−0.719	0.427	0.26	−0.427	−0.41
叶绿素 b	0.972**		0.984**	0.963**	0.437	0.347	0.365	−0.776*	−0.647	0.496	0.234	−0.496	−0.482
叶绿素	0.991**	0.994**		0.937**	0.447	0.385	0.398	−0.820*	−0.695	0.465	0.252	−0.465	−0.449
F_0	−0.224	−0.006	−0.105		0.381	0.552	0.573	−0.843*	−0.726	0.583	0.166	−0.583	−0.572
F_m	0.025	0.229	0.138	0.894**		0.189	0.12	−0.561	−0.671	−0.528	0.975**	0.528	0.54
NPQ	−0.402	−0.334	−0.367	0.058	0.215		0.996**	−0.787*	−0.795*	0.355	0.07	−0.355	−0.357
qN	−0.411	−0.355	−0.383	0.009	0.163	0.998**		−0.775*	−0.764*	0.434	−0.01	−0.434	−0.437
qP	0.085	−0.084	−0.008	−0.515	−0.645	−0.572	−0.527		0.972**	−0.291	−0.396	0.291	0.279
qL	−0.011	−0.18	−0.104	−0.513	−0.691	−0.571	−0.525	0.991**		−0.089	−0.542	0.089	0.078
F_0/F_m	−0.242	−0.393	−0.327	−0.604	−0.897**	−0.359	−0.315	0.652	0.733		−0.703	−1.000**	−1.000**
Fv	0.058	0.257	0.168	0.865*	0.998**	0.233	0.182	−0.653	−0.703	−0.922**		0.703	0.713
F_v/F_m	0.242	20.393	0.327	0.604	0.897**	0.359	0.315	−0.652	−0.733	−1.000**	0.922**		1.000**
F_v/F_0	0.243	0.395	0.329	0.620	0.906**	0.333	0.288	−0.651	−0.73	−0.999**	0.930**	0.999**	

注:表格右上角为正常水分处理数据,左下角为干旱胁迫处理(3 h)数据,* 表示在 0.05 水平(双侧)下显著相关,** 表示在 0.01 水平(双侧)下显著相关。

2.5 茶树水分-色素-荧光参数隶属函数分析

由于水分-色素-荧光参数三类指标的含义及单位均不同,故而本文采用隶属函数分析法对三类指标综合考量,根据平均隶属函数值的大小将 7 个茶树品种在高温干旱失水条件下的抗性进行排序(表 7)。具体分析以 7 种茶树叶片脱水 6 h 后的 12 个指标为依据,排序结果表明 7 个茶树品种在高温、干旱、失水条件下,抗性由大到小的顺序为:肉桂>九龙袍>丹桂>毛蟹>金观音>水仙>奇兰。

表 7 7 个茶树品种综合三类指标的隶属函数值

Tab.7 Membership function values of three comprehensive indexes of seven tea varieties

品种	含水量	失水率	水分饱和亏缺	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量	F_0	F_m	F_v/F_m	qP	NPQ	隶属函数平均值	排序
水仙	0.315	0.015	0.353	0.182	0.656	0.683	0.663	1.000	1.000	0.328	0.333	0.299	6
毛蟹	0.000	0.171	0.000	0.318	0.683	0.706	0.000	0.422	0.956	1.000	0.000	0.438	4
肉桂	0.913	0.690	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.699	0.311	0.453	1.000	0.786	1
丹桂	0.519	0.432	0.644	0.938	0.681	0.702	0.263	0.065	0.200	0.467	0.000	0.439	3
奇兰	1.000	0.000	0.055	0.000	0.228	0.257	0.242	0.000	0.000	0.387	0.500	0.280	7
金观音	0.370	1.000	0.403	0.672	0.000	0.000	0.421	0.301	0.333	0.000	0.500	0.333	5
九龙袍	0.250	0.499	0.274	0.616	0.340	0.846	0.354	0.594	0.778	0.6	0.250	0.445	2

3 结论与讨论

高水分利用率是作物抵御高温干旱胁迫的重要途径之一,茶树是典型的亚热带常绿植物,全年降水量需求高达 1 000~1 400 mm,水分利用效率的高低可作为评价茶树耐旱性强弱的指标[17]。本实验对 7 个茶树品种的测定结果表明:茶树的叶片形态与保水性能之间有一定相关性,在高温胁迫下,茶树叶宽、叶面积和叶片指数与叶片失水率(RWL)显著负相关。水分测定数据表明, 随处理时间的延长,7 种茶树叶片的 RWC、RWL 均呈上升趋势,而 WSD 均下降,且皆在处理 1–2 h 时间段内变幅最大,说明这 7 种茶树对高温失水反映迅速,均能在高温胁迫初期通过调节自身水分提高抗旱能力,耐受一定程度的高温干旱。其中,肉桂、水仙、奇兰保水能力较优,金观音的最弱。

光合色素含量测定表明,7 种茶树品种的 Chla 含量处于同一水平(30.07~30.74 mg/L),而 Chlb 的变幅较大(11.78~28.56 mg/L)且品种之间差异显著;失水 0~2 h 期间,7 种茶树叶绿素总量除了水仙保持不变、毛蟹上升之外,其余 5 种均下降。

对上述光合色素含量和叶绿素荧光参数两类共 13 项指标的相关分析表明,茶树的光合色素与叶绿素荧光参数间有相关性,并且在正常条件下和高温失水时(3 h)的相关性存在差异。

植物在逆境下的表现受诸多因素的共同影响,单一类型指标的判断易造成误差。因此,本实验用隶属函数分析法综合水分指标、色素含量、叶绿素荧光参数三类共 12 个指标, 评价 7 种茶树对高温脱水逆境的适应能力,结果表明 7 个茶树品种的抗性由大到小为肉桂>九龙袍>丹桂>毛蟹>金观音>水仙>奇兰。

参考文献:

[1] 翟秀明,唐敏,胡方洁,等.高温干旱胁迫对茶树叶绿素荧光特性的影响[J].南方农业,2019,13(4):46–49,59.

[2] 沈思言,徐艳霞,马春雷,等.干旱处理对不同品种茶树生理特性影响及抗旱性综合评价[J].茶叶科学,2019,39(2):171–180.

[3] CHERUIYOT E K,MUNERA L M, NG'ETICH W K,et al. Hign fertilizer rates increase susceptibility of tea to water stress [J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 33(1):115–129.

[4] 马蕊.云南普洱茶大幅减产干旱导致云南茶价上涨[J].中国茶叶,2010,32(4):33.

[5] 周琳,徐辉,朱旭军,等.脱落酸对干旱胁迫下茶树生理特性的影响[J].茶叶科学,2014,34(5):473–480.

[6] 陆德标,童启庆,络耀平,等.茶树种质资源抗旱性的综合评价[J].浙江农业大学学报,1995,21(5):447–450.

[7] 汤肖玮,苏江硕,管志勇,等.茶用菊苗期抗旱性和耐涝性的综合评价[J].园艺学报,2021,48(12):2443–2457.

[8] 郝西,张俊,丁红,等.不同花生品种抗旱性评价[J].花生学报,2020,49(04):47–51,22.

[9] 徐淑萍,黄航,杜曲,等.不同品种茶树叶片光合特性与叶绿素荧光参数的比较 [J]. 江西农业大学学报,2021,43(5):1098–1106.

[10] 聂传朋,蔡鸿辉,李焰焰,等.武夷学院茶山土壤生态因子调查[J].武夷学院学报,2020,39(3):5–6.

[11] 郭春芳.水分胁迫下茶树的生理响应及其分子基础[D].福州:福建农林大学,2004.

[12] 王莺璇,雷江丽,王有国.7 种百合科园林地被植物抗旱性研究[J].安徽农业科学,2012,40(26):12979–12983,13007.

[13] 胡建忠,魏学智.基于叶片水分参数的不同类型沙棘抗旱性比较[J].中国水土保持,2021(8):44-46,9.

[14] 杨占彪. 兰州市南北两山四种绿化树种抗旱特性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2006.

[15] 魏永胜,两宗锁,山仑.利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J].草业科学,2005,22(6):33-36.

[16] 罗静,范士胜,宋勤飞.干旱胁迫对 5 个茶树优良品系扦插苗根系和叶片生理生化特性影响的比较[J].分子植物育种,2023,21(13):4388-4397.

[17] 孙晓楠.桐柏地区不同引进茶树品种的生理特性与品质特征及茶树花的生化成分研究[D].郑州:河南农业大学,2010.

[18] 钟秋生,陈常颂,林郑和,等.九龙袍茶树光合特性与品种成分研究[J].福建农业学报,2011,26(3): 383-387.

Analysis of Physiological Changes During Leaf Water Loss of Seven Tea Species

HUANG Wei[1,2], LI Jing[2], YAN Zhaojun[2], LI Yanyan[2]

(1.School of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002;

2.School of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: Taking 7 tea assortments as the inquire about question, the water misfortune handle of tea clears out beneath tall temperature and dry spell was reenacted, and the changes of leaf water (relative water substance RWC, water misfortune rate RWL, characteristic immersion misfortune WSD), chlorophyll substance, chlorophyll fluorescence parameters and other markers were watched. The results about appeared that leaf width, leaf zone and leaf list were contrarily connected with leaf water misfortune rate (RWL). The clears out of the seven tea plants reacted rapidly to tall temperature water misfortune, RWC and RWL expanded quickly inside 1-2 h, WSD diminished, cinnamon and Narcissus had way better water maintenance capacity, and Jinguanyin was the weakest. The assurance of photosynthetic shade substance appeared that the Chla substance of 7 assortments was at the same level (30.07-30.74 mg/l), whereas chlb was essentially distinctive among assortments (11.78-28.56 mg/l). The chlorophyll substance diminished in 0-2 h of tall temperature lack of hydrationexcept Narcissus. The changes of chlorophyll fluorescence parameters of tea trees reflect the push of tall temperature and water misfortune quickly, which are primarily concentrated in 0-3 h: in 0-2 h, qP increased, qN and Y (II) decreased, and in 2-3 h, qP decreased, qN and Y (II) increased. There was a relationship between photosynthetic colors and chlorophyll fluorescence parameters of tea plants, and the relationship was distinctive beneath ordinary conditions and tall temperature parchedness (3 h). Agreeing to the comprehensive assessment of the over three lists by the strategy of participation work esteem, the comprehensive execution of the takes off of seven tea assortments beneath the condition of tall temperature water misfortune is as takes after: Rougui> Jiulongpao> Dangui > Maoxie > Jinguanyin > Shuixian >Qilan.

Key words: tea plant; in vitro drought; water physiological index; chlorophyll fluorescence parameter; dry resistance

(责任编辑:叶丽娜)

不同施肥处理对茶苗叶绿素荧光参数及其生长的影响

石秋梅[1]，尹传华[1*]，陈家炜[2]，陈永安[1]

(1. 武夷学院 茶与食品学院，福建 武夷山 354300; 2. 福建省三明市尤溪县农村环保能源站，福建 尤溪 365100)

摘 要：为揭示茶树叶绿素荧光参数对不同施肥处理的响应特性，本论文研究以一年生“肉桂”扦插茶(*Camellia sinensis* Rougui)苗为试验材料，以不施肥为对照，采用土壤盆栽法，设置 0.1、0.2、0.4 g/kg 三个浓度复合肥处理及 1、2、4 g/kg 三个浓度生物有机肥处理，处理 60 和 80 d 后，采用便携式叶绿素荧光仪 APM 2500 检测茶苗叶片的叶绿素荧光参数，同时，观测不同施肥处理茶苗株高和生物量。研究结果表明：处理 60 d 后，0.2 和 0.4 g/kg 复合肥处理茶苗叶片的表观光合电子传递速率(ETR)显著低于对照及三个生物有机肥处理；处理 80 d 后，与对照相比，0.2 和 0.4 g/kg 复合肥处理的 ETR、实际光化学反应量子效率(Y(II))、最大光化学量子产量(F_v/F_m)及光化学猝灭系数(qP)均显著降低，光系统 II 调节性能量耗散的量子产量 Y(NPQ) 和非光化学淬灭系数(NPQ)也明显下降，系统 II 非调节性能量耗散的量子产量 Y(NO)显著增加；而 4 g/kg 生物有机肥处理及 0.1 g/kg 复合肥处理茶苗的 ETR、Y(II)和 qP 明显高于对照的。茶芽生物量对不同施肥处理的响应规律与叶绿素荧光参数的基本一致。0.1 g/kg 的低浓度复合肥处理及 2 g/kg、4 g/kg 生物有机肥处理茶苗的叶绿素荧光参数 ETR、Y(II)及 qP 值最高，株高和生物量大，是适宜茶苗培养的养分供应浓度。

关键词：茶树；叶绿素荧光技术；复合肥；生物有机肥

中图分类号：S158；S571.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-2109(2023)09-0030-07

光合作用是作物生长和品质形成的基础。植物对养分的吸收、利用与其光合系统密切相关，N、P 和 K 以及微量元素等营养物质的失衡都会影响植物的光合作用[1]。早期大量研究表明，叶片的光合特性，尤其是叶绿素含量，能较好地反应作物养分状况尤其是氮素水平，叶绿素仪以其快速诊断氮素营养状况，已广泛应用于小麦、玉米、马铃薯、黄瓜、油菜、甘蓝、蕹菜等作物氮素营养诊断[2-4]。

叶绿素荧光仪是 WALZ 公司首席科学家、德国乌兹堡大学教授 Ulrich Schreiber 于上世纪 80 年代研制出的，叶绿素荧光技术被称为研究植物光合作用快速、灵敏、无损伤的探针，叶绿素荧光信号包含与植物生长发育、病害损伤及胁迫程度密切相关的丰富光合信息。因此，叶绿素荧光技术常应用于植物非生物胁迫研究[5-6]。不少文献报道了营养胁迫对作物叶绿素荧光参数影响[7-9]。对于茶树这一重要经济作物，在铝[10]、氮素[11]及镁素[12]等方面也有少量研究。

已有文献报道主要是研究单质养分对茶树叶绿素荧光参数的影响，而有关复合肥及不同肥料类型的研究比较缺乏，后者对生产实践具有更直接的指导意义。本论文研究选用肉桂扦插茶苗为试验材料，采用土壤盆栽法培养植株，设置高、中、低三个不同浓度梯度复合肥及生物有机肥处理，并以不施肥为对照，研究不同施肥方式对茶树叶绿素荧光特性及生长的影响，通过分析叶绿素荧光参数对不同施肥处理的响应特性，探索叶绿素荧光技术在指导茶树施肥中的应用潜力。

收稿日期：2022-09-26

基金项目：福建省自然科学基金(2020J01406)。

作者简介：石秋梅(1976-)，博士，副教授，研究方向为植物营养生理。

通讯作者：尹传华(1976-)，博士，副研究员，研究方向为土壤-植物互作。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用材料为一年生扦插肉桂茶苗;复合肥的氮磷钾 25-8-15,总养分≥48%,不含氯元素;生物有机肥的氮磷钾≥5%,有机质≥45%。

盆栽用土壤采挖于武夷学院野生松树林林边路旁的红壤,将树枝、落叶及大石块挑选出,自然晾干备用。土壤理化指标如下:有机质含量 12.17 g/kg,碱解氮 31.5 mg/kg(碱解扩散法),速效磷 10.8 g/kg(0.5 mol·L^{-1} $NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法),速效钾 160 g/kg(NH_4OAc 浸提-火焰光度法),土壤 pH 值为 5.12。

1.2 茶苗培养方法与试验处理

土壤盆栽试验于 2019 年 9 月在武夷学院茶与食品学院现代温室内进行。培养塑料盆上部直径 30 cm,每盆装风干土 4 kg。试验设置不施肥对照及 6 个不同施肥处理:每盆分别添加复合肥 0.4、0.8 和 1.6 g,即 0.1、0.2 和 0.4 g/kg 的低、中和高三个不同浓度复合肥处理,分别以符号 CF-0.1、CF-0.2 和 CF-0.4 表示;每盆分别添加生物有机肥 4、8 和 16 g,即 1、2 和 4 g/kg 的低、中和高三个不同浓度生物有机肥处理,分别以符号 OF-1、OF-2 和 OF-4 表示。每个处理六个重复,每盆为一个重复,每盆栽种 3 株茶苗。处理 60 和 80 d 后,用叶绿素荧光仪检测芽下第 2 完全展开叶的叶绿素荧光参数,并采摘一芽两叶样品,称量其干、鲜重。

不同施肥处理盆栽肉桂置于现代温室的苗床上培养,温室内气温平均为 27 ℃。试验期间常规浇水管护,约每隔 2 d 浇水 1 次,每次浇水以浇透为准。光照为自然光。

1.3 叶绿素荧光参数的测定方法

采用 PAM-2500 便携式叶绿素荧光仪(德国 WALZ)测定叶片的叶绿素荧光数值。测定时间为上午 9:00—11:00 以及下午 15:00—17:00 时间段,天气晴朗时进行。测定位置为芽下第二完全展开叶。30 min 叶片遮光处理(暗适应)后,测定其最大光合量子产量(F_v/F_m),进行光照活化后,测定电子传递效率(ETR)、实际光合量子产量(Y(II))、光化学猝灭系数(qP 和 qL)、非光化光系数猝灭参数(qN 和 NPQ)、非调节性能量耗散的量子产量(Y(NO))、调节性能量耗散的量子产量(Y(NPQ))。

1.4 茶苗生长特性的观测

移栽后每周观察记录茶苗生长发育状况,培养处理 60 d 后测量每个施肥处理茶苗株高,并计算平均值;培养处理 80 d 后,采摘一芽两叶样品,称量鲜重和干重,并计算每个处理平均每株茶苗一芽两叶的干鲜重。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理。采用 SPASS 19.0 软件进行不同施肥处理实验的单因素方差分析($P<0.05$),用最小显著差异法(LSD)比较各处理间平均值差异显著性,结果以"平均数±标准差"表示。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对茶苗叶片 F_v/F_m 及 ETR 的影响

F_v/F_m 反映植物叶片 PSⅡ反应中心最大光能转换效率,是衡量植物光合性能的重要指标。该叶绿素荧光参数不受物种和生长条件的影响,在非胁迫条件下值稳定在 0.8 左右,变化极小,而胁迫条件下会明显下降。由表 1 可知,不同施肥处理 60 d 和 80 d 后,0.4 g/kg 土高浓度复合肥处理的 F_v/F_m 值最小,处理后 80 d 降为 0.63,显著小于其他处理的,而其他处理间的无显著差异。由此表明,高浓度复合肥处理使茶苗生长受到胁迫。对茶苗生长表型观察也发现,复合肥处理,尤其是高浓度复合肥处理,叶片颜色更为浓绿。

电子传递速率 ETR 反映了实际光照条件下的表观电子传递效率,指植物光合系统吸收光能发生电荷分离产生电子并沿电子传递链向下传递的速率。由表 1 还可知,处理 60 d 天后,0.2 和 0.4 g/kg 复合肥处理的 TER 显著低于对照,ETR 值从对照的 19.5 下降为 13~14;生物有机肥处理茶苗的光合电子传递速率 ETR 值最高,为 23.8。处理 80 d 天后,2 和 4 g/kg 生物有机肥处理的依然最高,ERT 值均超过 26,而施用中、高浓度复合肥处理的最小,ERT 值为 19~20,显著低于中、高浓度生物有机肥处理的。由此也表明,复合肥施用过多,会减弱光合电子传递速率,进而影响光合效率,而合理的生物有机肥施用可提高茶苗光合电子传递速率。

表 1 不同施肥处理茶苗的 F_v/F_m 及 ETR

Tab.1 Fv/Fm and ETR of tea seedlings under different fertilization treatments

处理 Treatment	F_v/F_m		ETR	
	60 d	80 d	60 d	80 d
CK	0.72±0.04a	0.75±0.05a	19.5±7.3ab	24.1±6.5ab
CF-0.1	0.74±0.03a	0.72±0.04a	20.2±4.5abc	25±5.8ab
CF-0.2	0.71±0.03a	0.69±0.08ab	14.9±3.9c	19.4±1.3b
CF-0.4	0.69±0.04a	0.63±0.12b	13.4±1.8c	20±2.8b
OF-1	0.73±0.06a	0.72±0.05a	21.8±6.5ab	21.7±3ab
OF-2	0.74±0.02a	0.76±0.02a	21.1±2.3ab	26.7±6.5a
OF-4	0.74±0.04a	0.72±0.1a	23.8±9a	26.2±8a

(1)CK 为不施肥对照,CF-0.1、CF-0.2、CF-0.4 分别指每千克土壤施用复合肥 0.1、0.2 和 0.4 g 土的处理,OF-1, OF-2, OF-4 指分别施用生物有机肥 1、2 和 4 g 土的处理。培养、处理 60 和 80 d 后,采用叶绿素荧光仪检测相关参数;(2) 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.2 不同施肥处理对茶苗叶片 Y(Ⅱ)、Y(NPQ)及 Y(NO)的影响

Y(Ⅱ)表示光合作用电子传递的量子产额,代表光系统 II 吸收后用于光化学反应的那部分能量, 剩余的未做功的能量可以分成两个部分 Y(NPQ)和 Y(NO)。由表 2 可知,与对照相比,复合肥处理会降低茶苗的实际光化学量子产量 Y(II),生物有机肥处理会提高茶树叶片的 Y(II),且处理后 80 d,0.2 和 0.4 g/kg 复合肥处理的 Y(II)显著低于对照 CK。

表 2 不同施肥处理茶苗叶片的 Y(II)、Y(NPQ)及 Y(NO)

Tab.2 Y(II), Y(NPQ) and Y(NO) of tea seedling leaves under different fertilization treatments

处 理	Y(II)		Y(NPQ)		Y(NO)	
	60 d	80 d	60 d	80 d	60 d	80 d
CK	0.23±0.09a	0.29±0.08ab	0.57±0.09a	0.5±0.07a	0.2±0.02ab	0.22±0.04b
CF-0.1	0.24±0.05a	0.3±0.07ab	0.58±0.05a	0.47±0.06a	0.19±0.00b	0.23±0.02b
CF-0.2	0.23±0.05a	0.23±0.02b	0.57±0.04a	0.49±0.08a	0.2±0.02ab	0.28±0.08ab
CF-0.4	0.21±0.04a	0.24±0.03b	0.58±0.03a	0.44±0.15a	0.21±0.03a	0.32±0.15a
OF-1	0.26±0.08a	0.26±0.04ab	0.54±0.07a	0.52±0.03a	0.21±0.02ab	0.23±0.03b
OF-2	0.25±0.03a	0.32±0.08a	0.56±0.03a	0.47±0.08a	0.19±0.01ab	0.21±0.01b
OF-4	0.28±0.11a	0.31±0.1a	0.52±0.1a	0.47±0.1a	0.2±0.01ab	0.22±0.02b

Y(NPQ)指调节性能量耗散的量子产量。从表 2 可知,处理 60 d 后,不同施肥处理茶苗叶片的 Y(NPQ)未发现显著差异,但处理 80 d 后,与对照相比,0.4 g/kg 高浓度复合肥处理的 Y(NPQ)没有升高,反而表现出下降趋势,从对照的 0.5 下降为 0.44,表明高浓度养分已损伤茶苗叶片的自我保护能力。

Y(NO),光系统Ⅱ非调节性能量耗散的量子产量。由表 2 可知,0.4 g/kg 高浓度复合肥处理 80 d 后,其 Y(NO)值均显著高于其他处理的,上升为 0.32,比对照增加了 45%,且 0.2 g/kg 复合肥处理的 Y(NO)值也从对照的 0.22 上升为 0.28, 而其他处理间无显著差异。该试验结果表明,中、高浓度复合肥处理下的高养分供应对茶苗植株生长造成了光损失。

2.3 不同施肥处理对茶苗光化学淬灭参数 qP 及 qL 的影响

由光合作用引起的荧光淬灭称之为光化学淬灭,qP 和 qL 是光化学淬灭两个重要参数, 反映了光合活性的高低。从表 3 可知,处理后 60 d,不同处理间的 qP 和 qL 值无显著差异, 但处理后 80 d,4 g/kg 高浓度生物有机肥和 0.1 g/kg 的低浓度复合肥两个处理的光化学淬灭参数 qP 及 qL 最高, 显著高于中浓度复合肥处理。该结果表明,4 g/kg 高浓度生物有机肥和 0.1 g/kg 的低浓度复合肥两个施肥处理提供的养分适宜茶苗生长,茶苗叶片的光合活性最高。

表 3 不同施肥处理茶苗叶片的光化学淬灭数 qP 和 qL

Tab.3 Photochemical quenching numbers qP and qL of tea seedling leaves under different fertilization treatments

处理 Treatment	qP		qL	
	60 d	80 d	60 d	80 d
CK	0.56±0.1a	0.59±0.11ab	0.43±0.08a	0.43±0.11ab
CF-0.1	0.59±0.09a	0.64±0.08a	0.46±0.08a	0.49±0.06ab
CF-0.2	0.61±0.11a	0.53±0.09b	0.49±0.11a	0.39±0.12b
CF-0.4	0.57±0.07a	0.58±0.07ab	0.45±0.07a	0.45±0.08ab
OF-1	0.58±0.09a	0.58±0.05ab	0.44±0.07a	0.43±0.04ab
OF-2	0.6±0.05a	0.63±0.08ab	0.46±0.05a	0.47±0.06ab
OF-4	0.61±0.12a	0.67±0.1a	0.47±0.09a	0.52±0.12a

2.4 不同施肥处理对茶苗非光化学猝灭参数 NPQ 及 qN 的影响

由热耗散引起的荧光淬灭称之为非光化学淬灭,qN 和 NPQ 是非光化学猝灭两个重要参数。从表 4 可知,不同施肥处理间的非光化学淬灭 qN 均未表现出显著差异。处理 60 d 后,不同处理间的 NPQ 差异不显著,但处理 80 d 后,0.2 和 0.4 g/kg 复合肥处理茶苗 NPQ 下降,分别从对照的 2.33 下降为 1.94 和 1.67,后者显著低于其他处理。中、高浓度复合肥处理的 NPQ 未增加,反而下降,这进一步表明该处理提供养分浓度过高,茶苗的光合系统已被破坏,无法通过耗散过量的能量进行自我保护,失去在过剩光下自我保护的能力。

表 4 不同施肥处理茶苗叶片的非光化学猝灭参数 NPQ 及 qN

Tab.4 Non-photochemical quenching parameters NPQ and qN of tea seedling leaves under different fertilization treatments

处理 Treatment	NPQ		qN	
	60 d	80 d	60 d	80 d
CK	2.99±0.74a	2.33±0.46a	0.86±0.04a	0.8±0.04a
CF-0.1	3.1±0.31a	2.03±0.24ab	0.87±0.02a	0.79±0.03a
CF-0.2	2.94±0.35a	1.94±0.78ab	0.86±0.03a	0.76±0.1a
CF-0.4	2.77±0.42a	1.67±0.75b	0.85±0.02a	0.71±0.21a
OF-1	2.63±0.4a	2.31±0.37a	0.83±0.03a	0.81±0.02a
OF-2	2.93±0.18a	2.23±0.46ab	0.86±0.01a	0.79±0.05a
OF-4	2.56±0.51a	2.2±0.54ab	0.83±0.05a	0.79±0.07a

2.5 不同施肥处理对盆栽茶苗生长的影响

从表 5 可知,与对照相比,除 0.4 g/kg 复合肥处理茶芽的鲜重降低,其他处理的茶芽干重、鲜重及株高均明显高于对照。其中,0.1 g/kg 复合肥处理的茶芽鲜重、干重及株高增加量最大,分别从对照的 622.2、244.4 mg/株和 20.1 cm 增加为 861.5、346.2 mg/株和 28 cm,但随着复合肥浓度升高,生物量及株高逐渐降低,0.4 g/kg 复合肥处理的茶芽鲜重降为 608.3 mg/株,为所有处理中最低。三个生物有机肥处理茶芽的鲜重、干重及株高亦均明显高于对照,鲜重从对照的622.2 mg/株增加至 680-700 mg/株,株高从对照 20.1 cm 增加为 22~25 cm,而三个生物有机肥处理之间的差异不大。该研究结果表明,0.1 g/kg 复合肥处理及生物有机肥处理是适宜茶苗生长的养分供应,而 0.4 g/kg 复合肥处理的提供的养分浓度过高,抑制了茶芽生物量及株高增长。

表 5 不同施肥处理茶苗的生物量及株高

Tab.5 Biomass and plant height of tea seedling under different fertilization treatments

项目	CK	CF-0.1	CF-0.2	CF-0.4	OF-1	OF-2	OF-4
茶芽鲜重(mg/株)	622.2	861.5	781.3	608.3	700.0	680.0	690.9
茶芽干重(mg/株)	244.4	346.2	312.5	250.0	277.8	270.6	272.7
株高(cm/株)	20.1	28.0	25.4	22.1	22.4	25.4	24.8

注:处理后 60 d 测量株高,处理后 80 d 时检测茶芽(一芽二、三叶或开面)干重、鲜重;表中数据为每个处理所有茶苗的平均值。

Notes: The plant height was measured 60 days after treatment, and the dry weight and fresh weight of tea buds (one bud with two leaves, three leaves or open face) were measured on 80 days after treatment; the data in the table are the average values of all tea seedlings in each treatment.

3 讨论

3.1 不同施肥处理对茶苗叶片 F_v/F_m、Y(II)、ETR 及光化学淬灭参数 qP、qL 的影响

光化学猝灭反映了 PSII 原初电子受体 QA 的还原状态,可以衡量 PSII 反应中心的开放程度。光化学猝灭参数包括光系统Ⅱ最大光量子效率(F_v/F_m)、实际光化学量子效率(Y(II))、电子传递速率(ETR)、稳态光适应光化学猝灭(qP)及基于 Lake 模型的稳态光适应光化学猝灭(qL)等。从上述研究结果可知,0.2 g/kg 和 0.4 g/kg 的中、高浓度复合肥处理会显著降低 F_v/F_m、Y(II)、ETR 及光化学淬灭参数 qP、qL,而其他处理间的无显著差异,且其中 4 g/kg 生物有机肥处理及 0.1 g/kg 低浓度复合肥处理茶苗的 ETR、Y(II)、和 qP 和 qL 明显高于不施肥对照的。高浓度的养分供应降低茶苗光合效率,使光合作用受阻,而适宜的养分浓度可维持较高的光化学猝灭参数。龙继锐等[8]研究也表明,水稻在低氮和高氮条件下 qL、Y(II)均降低,而在中氮条件下具有最高的 qL、Y(II)值。向芬等[10]对氮素水平影响不同品种茶树的光合系统的研究也发现,中氮水平下,3 个茶树品种的 F_v/F_m、qP、rERT 亦增加最大。还有研究表明,缺钾使水稻叶片中的 F_v/F_m、ΦPSⅡ、qP 及 ETR 显著下降,在玉米上也得出了相类似的结果[9,13]。

此外,从不同施肥处理下叶绿素荧光参数的响应可知,电子传递速率 ETR 对养分供应反应最敏感,在处理后 60 d 即出现显著差异,而其他参数均在处理 80 d 后表现出差异。王敏等[11]对不同浓度铝条件影响茶苗叶片叶绿素荧光参数的研究也可知,F_v/F_m、ETR 及 Y(II)三个参数中,ETR 对铝胁迫反应最为敏感,当铝浓度低于 0.4 mmol·L^{-1} 时,随铝浓度升高,ETR 逐渐显著升高,当铝浓度继续增加时,ETR 逐渐显著下降。

3.2 不同施肥处理对茶苗非光化学猝灭参数的影响

非光化学猝灭可以评估植物的光保护能力,反映了天线色素吸收的光能用于热耗散的部分。当 PSⅡ反应中心天线色素吸收了过量的光能时,如不能及时耗散,将对光合机构造成破坏或失活。因此,非光化学淬灭是一种自我保护机制,对光合机构起一定的保护作用。非光化学猝灭参数主要有非光化光系数猝灭(qN)、非光化荧光猝灭(NPQ)、光诱导下猝灭的量子产额(Y(NPQ))、非光诱导猝灭(Y(NO))。非光化学猝灭参数 NPQ 及 qN,反映了植物的光保护能力,指耗散过剩光能为热的能力。Y(NPQ)用来表征叶片的自我保护能力,指调节性能量耗散的量子产量。Y(NO),是光损伤的重要指标,指光系统Ⅱ非调节性能量耗散的量子产量,代表的是被动的耗散为热量和发出荧光的能量。高 Y(NO)值表示 PSⅡ光化学反应和保护性调节机制没有发挥作用。通常,随着光强度增强,植物会启动自我保护系统,NPQ 和 Y(NPQ)随之增强,减少光强对植物光合系统的损失。

从上述研究结果可知,与对照相比,0.2 g/kg 和 0.4 g/kg 的中、高浓度复合肥处理后 80 d 的 NPQ 值反而显著降低,Y(NPQ)值也较对照低,而 Y(NO)显著升高,而生物有机肥及低浓度复合肥处理的 NPQ、Y(NPQ)和 Y(NO)与对照相比无显著变化,各参数适宜。由此表明,0.4 g/kg 高浓度复合肥处理引发茶树生长营养胁迫,过高的养分供应导致茶苗光合系统,损害了其通过耗散过量的能量进行自我保护的能力。养分的缺乏也会导致作物通过热耗散的方式来消耗更多的能量,抵御胁迫。向芬等[10]对氮素水平影响不同品种茶树光合系统的研究表明,与对照不施肥处理相比,适宜养分供应的中氮水平下的非光化学淬灭系数(NPQ)显著降低。张卫强等[14]对不同浓度氮肥影响银叶树幼苗生长、光合参数及叶绿素荧光参数的研究也表明,不同浓度氮肥之间的 NPQ 值无显著差异,但均显著低于对照不施肥处理的。王碧莹等(2019)对不同施氮处理影响短梗五加与花楸叶绿素荧光参数的研究表明,施氮可以提高植物电子传递速率,降低热耗散,保证吸收的光能最大限度地进入电子传递系统进行碳固定,从而提高植物生长速率;快生种短梗五加在低氮处理下具有较高的光合性能,而慢生种花楸在高氮下表现出更好的光合性能[15]。

3.3 茶树生长与叶绿素荧光参数对不同施肥处理响应比较分析

从上述试验结果可知,以株高和茶芽生物量为茶树生长衡量指标时,0.2 和 0.4 g/kg 的中、高浓度复合肥处理的表现最差,其叶绿素荧光参数 F_v/F_m、Y(II)、ETR 及光化学淬灭参数 qP、qL 也显著低于其他处理,

且 Y(NO)显著升高;而 0.1 g/kg 的低浓度复合肥处理株高最高、生物最大,其次是生物有机肥处理,其中又以 4 g/kg 土的高浓度生物有机肥处理效果更好,而从上述不同施肥处理下茶苗叶片叶绿素荧光反应特性可知,低浓度复合肥处理及高浓度生物有机肥处理茶苗的叶绿素荧光参数 ETR、Y(II)、qP 明显高于其他处理的。由此表明,茶芽生物量变化与叶绿素荧光参数对不同施肥处理的反应基本吻合,生物有机肥及低浓度复合肥处理提供的养分状况最适宜,茶苗叶片叶绿素荧光参数及茶苗生长最佳。张卫强等(2021)对氮素水平影响银叶树幼苗生长及光合特性的研究结果也表明,叶绿素荧光参数及叶片生物量对不同施氮处理的反应规律基本一致,20 g/株处理的叶片生物量最大,叶绿素荧光参数 F_v/F_m、Y(II)、ETR 及 qP 也显著高于其他处理,而株高与叶绿素荧光参数之间的相关性较小[14]。唐磊等[12]对不同浓度镁影响茶树光合及光保护能力研究表明,茶苗地上部生物量与叶绿素荧光参数对不同浓度镁处理的反应相一致,与缺镁和 0.8 mol/L 镁素处理相比,0.1 mmol/L 和 0.4 mmol/L 镁素处理的茶树生物量及 F_v/F_m、F_v/F_0 等叶绿素荧光参数显著提高,而 Y(NPQ)最低。侯红乾等[7]研究在大田实验条件下不同施肥处理对水稻叶绿素荧光参数和产量影响,结果表明,等养分条件下配施 30%有机肥具有最优的叶绿素荧光指标组合及籽粒产量。但王敏等[11]的研究表明,叶绿素荧光参数与茶苗整株生物量对不同浓度铝胁迫的反应不一致,铝浓度为 0.4 mmol·L^{-1} 时叶绿素荧光参数 F_v/F_m、ETR 及 Y(II)最高,而铝浓度为 1 mmol·L^{-1} 时整株茶苗生物量最高。因此,研究叶绿素荧光参数作为营养诊断指标时,植物营养胁迫的表型指标也需合理选择。

4 结论

0.1 g/kg 的低浓度复合肥处理及 2、4 g/kg 生物有机肥处理下的茶树叶片叶绿素荧光参数 ETR、Y(II)及 qP 最高,茶苗株高和生物量大,是适宜的养分供应浓度。叶绿素荧光参数尤其电子传递速率 ETR 能快速、直观地评价茶树对养分的内在需求,初步显示可作为茶树营养诊断指标之一,为茶园施肥管理提供理论依据。下一步拟将叶绿素荧光技术应用于茶树施肥的大田试验,深入探索叶绿素荧光参数在茶树施肥营养诊断中的实践应用。

参考文献:

[1] 李正华,李海霞,李静,等.叶绿素荧光分析技术在林木研究中的应用[J].安徽农业科学, 2015,43(23): 156–158.

[2] 贾良良,陈新平,张福锁.叶绿素仪与植株硝酸盐浓度测试对冬小麦氮营养诊断准确性的比较研究 [J]. 华北农学报, 2017,22(6): 157–160.

[3] 陈百翠,魏峭嵘,石瑛,等. SPAD 值在马铃薯氮素营养诊断和推荐施肥中的研究与应用[J].吉林农业科学,2014,39(4): 26–30, 38.

[4] 李瑞.基于氮营养指数和 SPAD 的马铃薯氮素营养诊断[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.

[5] 张强,杨平,张边江.叶绿素荧光技术在彩叶植物引种评价中的应用[J].分子植物育种, 2017,15(3):1114–1120.

[6] 岑海燕,姚洁妮,翁海勇,等.叶绿素荧光技术在植物表型分析的研究进展[J].光谱学与光谱分析, 2018,38,12:3773–3779.

[7] 侯红乾,林洪鑫,刘秀梅,等.长期施肥处理对双季晚稻叶绿素荧光特征及籽粒产量的影响[J].作物学报, 2020,46(2): 280–289.

[8] 龙继锐,马国辉,万宜珍,等.施氮量对超级杂交中稻生育后期剑叶叶绿素荧光特性的影响[J].中国水稻科学, 2011,25(5): 501–507.

[9] 彭海欢,翁晓燕,徐红霞,等.缺钾胁迫对水稻光合特性及光合防御机制的影响[J].中国水稻科学,2006,20(6): 621–625.

[10] 向芬,李维,刘红艳,等.氮素水平对不同品种茶树光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报,2018,38(6):1138–1145.

[11] 王敏,宁秋燕,石元值.茶树幼苗对不同浓度铝的生理响应差异研究[J].茶叶科学, 2017,37(4): 356–362.

[12] 唐磊,肖罗丹,黄伊凡,等.不同浓度镁对茶树光合及光保护能力的影响[J].西北农业学报, 2011(8):1210–1219.

[13] 夏乐,于海秋,郭焕茹,等.低钾胁迫对玉米光合特性及叶绿素荧光特性的影响[J].玉米科学,2008,16(6): 71–74.

[14] 张卫强,黄芳芳,甘先华,等.施肥对银叶树幼苗生长及光合特性的影响[J].广西植物, 2021,41(6): 862–871.

[15] 王碧莹,盛连喜,郭静,等.不同施氮处理下短梗五加与花楸叶绿素荧光参数日变化的比较研究[J].东北师大学报(自然科学版), 2019,51(3):107–104.

Effect of Different Treatmeats on Chlorophyll Fluorescence Paramexers and Growth of Camellia Sinensis "Rougui" Seedlings

SHI Qiumei[1], YIN Chuanhua[1], CHEN Jiawei[2], CHEN Yongan[1]

(1. School of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300;

2. Rural Environmental Protection Energy Station, Youxi, Fujian 365100)

Abstract: In order to reveal the response of chlorophyll fluorescence parameters of tea leaves to different fertilization treatments, the characteristics of variation of chlorophyll fluorescence parameters and growth in vegetative propagated 1-year-old tea [*Camellia sinensis* 'Rougui']seedlings grown in pots were investigated in the 60 d and 90 d after cultivated and fertilized with different nutrient levels, 0 (control), three levels of compound fertilizer (0.1, 0.2 and 0.4 g/kg), and three levels of bio-organic fertilizer (1, 2 and 4 g/kg), respectively. The results showed that, in the 60 d after treatments, apparent photosynthetic quantum transmission efficiency (ETR) under the compound fertilizer treatments of 0.2 g/kg and 0.4 g/kg significantly decreased compared with the other treatments. In the 80 d after treatment, ETR, the relative electron transport rate of PSⅡ(Y(II)), maximum photochemical efficiency of PSⅡ(Fv/Fm), Y(NPQ) and the non-photochemical quenching coefficient(NPQ) under the compound fertilizer treatments of 0.2 and 0.4 g/kg significantly decreased, but its Y(NO) significantly increased, compared with the other treatment. control, compound fertilizer treatment of 0.1 g/kg and three levels of bioorganic fertilizer. And, ETR、Y(II)、qP and qL under the treatment of 4 g/kg bio-organic fertilizer and 0.1 g/kg compound fertilizer, their ETR、Y(II)、qP and qL were obviously higher than the control. Changes of tea bud biomass in respond to different fertilization treatments are the same as those of the chlorophyll fluorescence parameters. 0.1 g/kg low-concentration compound fertilizer and bio-organic fertilizer treatment are the most suitable to the growth of tea seedling, whose ETR, Y(II), Fv/Fm, qP are high, and the biomass of tea buds is large.

Key words: *Camellia sinensis*; chlorophyll fluorescence technology; compound fertilizer; bioorganic fertilizer

(责任编辑:叶丽娜)

香叶树优树自由授粉家系幼林生长性状遗传变异与初选

胥清利

（福建省顺昌埔上国有林场，福建 顺昌 353205）

摘 要：探究香叶树优树自由授粉家系的生长性状遗传特性与变异规律，为选择适合本地生长的乡土珍贵树种以及遗传改良提供参考。以 3 年生 29 个香叶树优树家系测定试验林为研究对象，分析不同家系间林木生长性状和遗传差异，并采用主成分分析和聚类分析进行综合评价。结果表明：香叶树幼林各生长性状变异丰富且在家系和区组×家系间均呈极显著（$P<0.01$），遗传和表型变异系数范围分别为 0.37~1.39 和 0.62~2.34 之间，其中以单株材积的变异系数最大，家系遗传力变化范围为 0.90~0.96，均属于高强度变异。结合主成分分析和聚类分析方法，按照 20%入选率，选择 1 号、2 号、4 号、5 号、6 号和 27 号共 6 种家系为最优家系。研究结果可为香叶树自由授粉家系遗传改良、种质推广以及优质林分的营造，生态修复和景观提升，发挥良好的示范带动作用。

关键词：香叶树；家系；生长性状；评价选择；遗传变异

中图分类号：S722.5 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-2109(2023)09-0037-07

林木生长性状变异不仅受到外界环境的影响，同时受一定程度的遗传特性控制，适度的遗传变异可改变遗传改良的能力，其变异广泛存在于区组与家系间[1]。家系优良选育是推进林木遗传育种和改良进程的关键途径，探究家系生长性状的变异程度及规律是科学规划育种措施的前提，也是估算亲本家系遗传参数和遗传价值的重要环节[2]，前向选择可区分母树的优劣[3]，而后向选择可对优质家系资源进行筛选，提高遗传改良潜力[4]。同时自由授粉可确保亲本获得大量种子，增强林木可育性以及扩大子代变异系数[5]，其技术已广泛应用于麻栎[1]和木荷[6]等树种的优树家系选择。因此深入研究香叶树自由授粉家系生长性状和遗传特性的差异性，揭示遗传控制机理，进行优良家系早期选育，对乡土珍贵树种遗传改良、优质选育和高效培育具有重要意义。生长量和保存率是阔叶树种最主要的表型性状，其中地径、胸径、树高和材积是表征林木生长状况的关键指标，生存率则侧重林木的存活状况，结合生长性状和存活率指标，可实现综合改良的目标[7]。

香叶树（*Lindera communis hemsl*）属樟科（Lauraceae）山胡椒属（Lindera）乔木植物，亚热带常绿树种，喜光和温暖气候，抗逆性强，耐干旱瘠薄，主要分布在海拔 300~2 000 m 间。香叶树是我国西南地区优质用材树种，因其材质细致、生长速度快、果实与种子含油率高、培土以及涵养水源能力强，在建筑用材和园林绿化等方面均具有重要作用[8]。目前有关香叶树的研究多集中在种子休眠、油脂和群落特征等方面[9]，鲜有分析优良家系选育的报道；同时香叶树各家系间生长性状间的差异性和遗传变异机制揭示不足均限制了其目标家系的选择以及育种造林的推进。鉴于此，选取 3 年生香叶树优树自由授粉家系测定林为材料，分析其生长性状的遗传变异程度与性状间的相关性，在此基础上结合主成分分析法和聚类分析法综合

收稿日期：2023-03-20

基金项目：福建省种业创新与产业化工程“特色树种香叶树、半枫荷种质创新与产业化工程项目”（ZY-CX-LY-2017002）。

作者简介：胥清利（1973-），男，汉族，林业高级工程师，从事森林资源培育、林业科技推广工作。

选取具有代表性的优良家系,以期为香叶树的优质家系选育、生产实践以及后期推广示范提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验地位于福建省顺昌埔上国有林场 (117°43′56″E,26°57′37″N)。林场境内山地多属武夷山脉的低山丘陵地带, 平均海拔 300~700 m, 年平均气温为 18.6 ℃,最高气温 40.3 ℃,最低气温零下 6.8 ℃,年平均降水量 1 300~2 100 mm,日照时数 1 526 h,无霜期可达 305 天,属中亚热带海洋性季风气候,林地多为山地红壤,土层深厚,土壤肥沃、湿润,适合香叶树栽培生长。供试苗木材料均来自于福建省林科院,共 29 个家系。2019 年春,选取 29 个家系的香叶树轻基质容器苗,采用完全随机分组设计,3 次重复,10 株单列小区,共 870 株,株行距为 2.0~3.0 m,各区组的周界种植 1~2 列杉木作为隔离行,造林前每穴施复合肥 0.1 kg,及时加强幼抚、早期除萌和修枝,按一般生产经营进行幼林抚育。

1.2 数据调查与处理

2022 年 3 月 16 日进行全林调查, 调查指标包含各家系保存率 (preservation rate,PR)、地径(ground path,GP)、胸径 (diameter at breast height,D) 和树高(height,H)。单株材积(volume,V)参照施恭明[10]的方法计算:

$$V=0.685634\times10^{-4}D^{1.933221}H^{0.867885} \quad (1)$$

式中:V 为单株材积(m^3),D 为胸径(cm),H 为树高(m)。

采用 Excel 2020 进行数据整理,使用 R 语言程序包“Halfsib MS”计算遗传力和变异系数。

$$家系遗传力(h_f^2)=\sigma_f^2\Big/\left[\sigma_f^2+\sigma_{fb}^2/b+\sigma_e^2/(bn)\right] \quad (2)$$

式中:b 为区组数,n 为每家系定植株数,σ_f^2 为家系方差分量,σ_{fb}^2 为家系与区组互作方差分量,σ_e^2 为环境方差分量。

$$遗传变异系数(CCVG)=\sigma f/\overline{X}\times100\% \quad (3)$$

$$表型变异系数(CCVP)=\sigma P/\overline{X}\times100\% \quad (4)$$

式中:σf 为家系遗传标准差,σP 为表型标准差且 σp=σf+σe(σe 为环境标准差),$\overline{X}$ 为群体平均值。

使用 SPSS 25.0 进行方差分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 香叶树不同家系间生长指标比较

由表 1 可知,各家系地径、树高、胸径、单株材积和保存率的分布范围分别为:1.02~7.25 cm、1.50~4.39 m、0.2~4.3 cm、0.000 004~0.004 168 m^3 和 10 %~100 %。平均地径生长较高的前 5 个家系依次为 2 号、1 号、4 号、5 号和 3 号,其值处于 3.72~5.45 cm 间,均比总体平均地径(2.38 cm)增加56.30%以上,其中 2 号(5.45 cm)增加 1.2 倍以上,显著大于其余家系;平均树高生长较高的前 5 个家系依次为 2 号、1 号、27 号、5 号和 3 号,其值处于 3.21~3.80 cm 间,均比整体平均树高(2.12 m)增加 51.42%以上; 平均胸径生长较好的前 5 个家系依次为 2 号、5 号、4 号、27 号和 1 号, 其值处于 2.70~3.35 cm 间, 其中 2 号家系平均胸径显著大于其余各家系,比总体平均胸径(1.29 cm)增加 1.5 倍以上;平均材积较高的前 5 个家系依次为 2 号、27 号、5 号、4 号和 1 号,其值处于 0.001 391~0.002 431 m^3 间,均比平均材积(0.000 444 5 m^3)增加 2 倍以上,其中 2 号家系比平均材积增加 4 倍以上;保存率为 100 %的家系有 4 个,分别为 6 号、4 号、2 号和 1 号,除 22 号和 13 号(53.33%)保存率小于 60 %外,剩余家系保存率维持在 60%~96.67%之间,无显著差异。

对香叶树 29 个家系指标进行方差分析(表 2),各家系生长指标在家系间均达到极显著水平,而区组间仅地径和单株材积达到极显著水平, 说明相较于区组,香叶树 4 个指标在家系间存在更广泛变异,即各家系生长方差来源主要以家系为主。同时各家系生长性状指标变异系数均在 40%以上,其中单株材积变异系数最高,为 85.53%,其次为胸径,75.02%。地径和树高两者变异系数接近,分别为 48.74%和 43.37%。这表明香叶树各形态指标存在丰富变异, 表型分化明显,改良潜力大,为优良家系的选择奠定基础。

表 1 香叶树各家系生长性状指标

Tab.1 Growth traits of each family of *L. communis*

家系号	地径/cm	树高/m	胸径 *D*/cm	单株材积 *V*/m³	保存率/% PR/%
1	4.63±1.11ab	3.38±0.25a	2.70±0.44ab	0.001 391±0.000 548b	100.00±0.00a
2	5.45±1.61a	3.80±0.52a	3.35±0.83a	0.002 431±0.001 505a	100.00±0.00a
3	3.72±0.24b	3.21±0.14ab	2.43±0.24b	0.001 059±0.000 242b	96.67±5.77ab
4	4.09±0.45b	3.19±0.28ab	2.82±0.46ab	0.001 434±0.000 505b	100.00±0.00a
5	3.84±0.42b	3.25±0.15ab	2.85±0.46ab	0.001 472±0.000 460b	96.67±5.77ab
6	3.57±0.35b	3.19±0.36ab	2.55±0.24ab	0.001 164±0.000 334b	100.00±0.00a
7	1.54±0.29c	2.08±0.27cd	1.02±0.40cd	0.000 154±0.000 104c	86.67±15.28ab
8	1.67±0.35c	1.89±0.51cd	0.66±0.59cd	0.000 095±0.000 140c	63.33±11.55ab
9	1.69±0.61c	1.92±0.34cd	0.93±0.57cd	0.000 140±0.000 125c	76.67±11.55ab
10	1.37±0.03c	1.83±0.17cd	0.66±0.33cd	0.000 063±0.000 065c	73.33±28.87ab
11	1.64±0.15c	1.83±0.06cd	0.80±0.30cd	0.000 083±0.000 053c	60.00±26.46ab
12	1.44±0.12c	1.67±0.15cd	1.01±0.08cd	0.000 111±0.000 027c	70.00±0.00ab
13	1.30±0.18c	1.82±0.38cd	0.95±0.13cd	0.000 104±0.000 022c	53.33±5.77b
14	1.32±0.19c	1.85±0.31cd	0.92±0.13cd	0.000 100±0.000 029c	66.67±23.09ab
15	1.85±0.30c	2.10±0.43cd	1.10±0.61c	0.000 203±0.000 164c	80.00±20.00ab
16	1.38±0.22c	1.10±0.96de	0.57±0.55cd	0.000 058±0.000 072c	63.33±20.82ab
17	2.55±0.62c	2.23±0.28bc	1.19±0.39c	0.000 211±0.000 133c	73.33±15.28ab
18	1.96±0.60c	2.13±0.67cd	0.93±0.60cd	0.000 170±0.000 224c	70.00±20.00ab
19	2.02±0.22c	1.89±0.21cd	0.71±0.24cd	0.000 073±0.000 073c	73.33±20.82ab
20	2.18±0.32c	2.23±0.23bc	1.16±0.28c	0.000 196±0.000 102c	90.00±10.00ab
21	2.11±0.13c	2.05±0.42cd	0.77±0.24cd	0.000 087±0.000 061c	93.33±5.774ab
22	1.89±0.30c	0.53±0.92e	0.13±0.23d	0.000 006±0.000 010c	23.33±11.55c
23	2.08±0.39c	2.08±0.25cd	1.15±0.41c	0.000 189±0.000 121c	73.33±15.28ab
24	1.77±0.28c	1.21±1.04cde	0.41±0.35cd	0.000 030±0.000 026c	90.00±10.00ab
25	1.82±0.09c	1.06±0.92de	0.33±0.29cd	0.000 018±0.000 016c	60.00±20.00ab
26	1.87±0.15c	1.25±1.10cde	0.54±0.52cd	0.000 058±0.000 069c	86.67±5.77ab
27	3.57±0.54b	3.29±0.50a	2.81±0.64ab	0.001 518±0.000 882b	80.00±10.00ab
28	0.43±0.27c	1.93±0.26cd	1.15±0.32c	0.000 173±0.000 109c	80.00±17.32ab
29	2.26±0.71c	1.41±1.22cde	0.74±0.66cd	0.000 108±0.000 705c	73.33±5.77ab
均值	2.39±1.16	2.12±0.92	1.29±0.97	0.000 445±0.000 706	77.70±20.78

注:小写字母表示各生长性状在不同家系间的差异性。

表 2 家系间各指标方差分析 *F* 值与变异系数

Tab.2 Family variance analysis *F* value, coefficient of variation, and indicators

指标	变异来源	自由度	均方	*F* 值	*P* 值	变异系数/%
地径 GP/cm	区组间	2	11.14	17.19	<0.001	
	家系间	28	30.36	46.83	<0.001	48.74
	区组×家系	56	1.75	2.70	<0.001	
树高 *H*/m	区组间	2	1.65	5.35	0.005	
	家系间	28	13.96	45.25	<0.001	43.37
	区组×家系	56	0.52	1.70	0.002	
胸径 *D*/cm	区组间	2	0.43	1.02	0.36	
	家系间	28	24.73	58.36	<0.001	75.02
	区组×家系	56	0.86	2.02	<0.001	
单株材积 *V*/m³	区组间	2	2.64×10^{-6}	13.48	<0.001	
	家系间	28	1.15×10^{-5}	42.53	<0.001	85.53
	区组×家系	56	1.01×10^{-6}	3.73	<0.001	

2.2 香叶树不同家系生长指标遗传参数

遗传参数可反映家系各生长性状的总体遗传特征,对其进行估算有助于育种方法的确定以及后续制定相匹配的选育策略(表 3)。由表 3 可知,各性状遗传变异系数和表型变异系数均表现为:单株材积>胸径>地径>树高,遗传变异系数范围为 0.37~1.39,表型变异系数范围为 0.62~2.34,两种变异系数均在 0.3 以上,表明香叶树各家系整体遗传和表型变异丰富,具有优秀的选育基础,可为后续家系选育提供理论依据。遗传力方面,各性状家系遗传力大小表现为:胸径=树高>地径>单株材积,其遗传力值均处以 0.9 以上,属于高度遗传范围,说明香叶树各生长性状受遗传因素影响较大,优良性状均可随着选育家系稳定遗传下去。

表 3 香叶树各家系遗传参数估算

Tab.3 The estimation of genetic parameters in L. *communis*

指标	家系方差分量/σ_f^2	环境方差分量/σ_e^2	遗传变异系数(%)	表型变异系数(%)	家系遗传力/h_f^2
地径 GP/cm	1.32±0.38	0.57±0.03	0.48	0.80	0.94±0.02
树高 *H*/m	0.62±0.18	0.27±0.02	0.37	0.62	0.96±0.01
胸径 *D*/cm	1.10±0.31	0.36±0.02	0.81	1.28	0.96±0.01
单株材积×10³ *V*/m³	0.48±0.14	0.23±0.01	1.39	2.34	0.90±0.03

2.4 香叶树不同家系间生长指标主成分分析与选择

对香叶树 29 个家系各生长指标进行主成分分析，由表 5 可知第 1 成分特征值为 4.305，贡献率达 86.099%，第 2 成分特征值为 0.488，贡献率为 9.758%，两主成分累积贡献率高达 95.857%，涵盖香叶树 5 个生长指标的绝大多数信息，可作为评价不同家系香叶树的指标。第 1 主成分权重占比较高的为：地径、树高、胸径、材积和保存率，可体现树木的整体生长状况，而第 2 主成分保存率的权重相对较高，侧重反映树木的存活状况。

表 5 香叶树各家系生长性状指标主成分分析

Tab.5 Principal component analysis of growth traits of each family of L. *communis*

主成分分析	地径 GP	树高 *H*	胸径 *D*	材积 *V*	保存率 PR	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	0.950	0.958	0.980	0.959	0.777	4.305	86.099	86.099
2	−0.172	0.023	−0.122	−0.233	0.623	0.488	9.758	95.857

依据主成分分析，对不同家系各成分贡献率进行得分排序(表 6)。X_1、X_2、X_3、X_4 和 X_5 分别表示标准化后的地径、树高、胸径、材积和保存率值。第 1 主成分 F_1 得分表达式为：$F_1=0.458X_1+0.462X_2+0.472X_3+0.462X_4+0.374X_5$；第 2 主成分 F_2 得分表达式为：$F_2=0.033X_2-0.246X_1-0.175X_3-0.333X_4+0.891X_5$；综合得分 F 表达式为：$F=0.861F_1+0.098F_2$。按第 1 主成分得分对 18 个家系进行排序，得分为正数的有 7 个，分别为：2 号、1 号、4 号、5 号、27 号、6 号，其分值均处于 2.49 分以上；按第 2 主成分得分进行排序，得分为正数的有 15 个，前 6 名分别为：21 号、24 号、26 号、7 号、20 号和 15 号，其分值均处于 0.35 分以上；综合得分大于 0 的有 8 个，排前 6 名的分别为：2 号、1 号、4 号、5 号、6 号和 27 号。

表 6 香叶树各家系主成分得分及排名

Tab.6 The scores and rankings of principal components of each family of L. *communis*

家系号	F_1	家系号	F_2	家系号	F	排名
2	4.7700	21	0.9867	2	4.0133	1
1	3.2400	24	0.9800	1	2.7733	2
4	3.0167	26	0.7800	4	2.5833	3
5	2.9267	7	0.7467	5	2.4967	4
27	2.5500	20	0.7133	6	2.1700	5
6	2.4967	15	0.3567	27	2.1067	6

注：表中仅显示得分排前 6 的家系号。

2.5 香叶树家系间生长指标聚类分析与选择

依据香叶树不同生长指标的综合表现，采用组间欧式距离对 29 个家系进行聚类分析(图 1)。以欧氏距离 10 为阈值，将香叶树 29 个家系分成 3 类：第 1 类仅有 22 号家系，性状表现最差，各主成分得分均为最低；第 2 类包含 7 种家系，分别为 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、6 号和 27 号家系；第 3 类为剩余的 21 个家系，性状表现中等，除 20 号家系主成分综合得分略大于 0 外，其余家系得分均为负数。

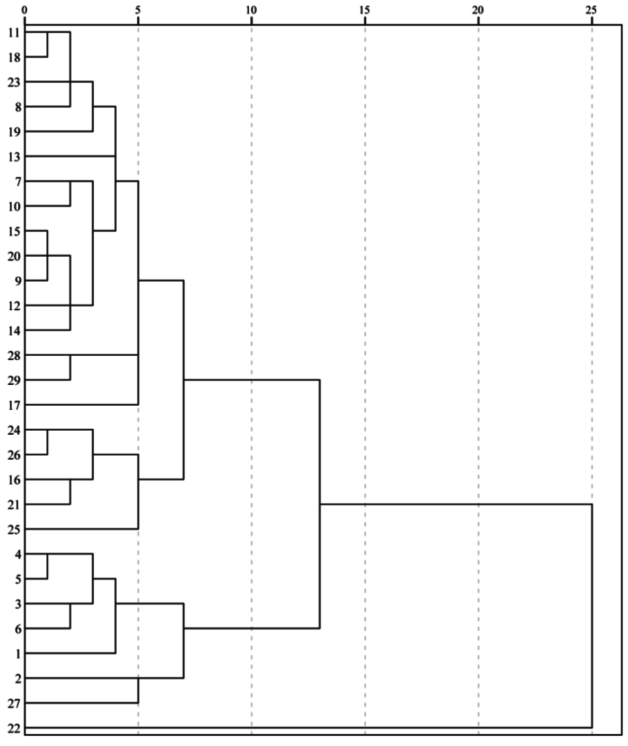


图 1 香叶树 29 个各家系聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of 29 provenances of L. communis

2.6 香叶树家系早期选择

以各家系具体生长指标数值为基础上，利用主成分分析和聚类分析结果，对各家系进行综合评价，采用 20%的优良家系入选率[3]开展福建香叶树早期优良

家系选择，选取 2 号、1 号、5 号、4 号、27 号和 6 号为最优家系。其中,入选家系地径均值为 4.19 cm,树高均值为 3.35 m、胸径均值为 2.85 cm、单株材积均值为 0.001 568 m^3 和保存率均值为 96.11%,比群体平均值分别增加了 76.20%、58.32%、118.53%、252.55% 和 23.69%。

3 讨论

3.1 香叶树各家系生长量与保存率分析

对香叶树各自由授粉家系筛选评价旨在推广示范及提升当地林分精准质量,而生长量与保存率受自身遗传特性以及外界环境的影响,能较大程度反映对当地的适应情况,表达各家系整体生长状况[11]。本研究主要对象为 3 年生香叶树,生长期早,平均生长量相对较低,但总体保存率高达 77.7%,其中部分家系保存率达到 100%,且相应生长量显著大于平均生长量,通过综合选育可获得适合福建本土的优良特色香叶树家系。29 个家系中保存率最高的有 1 号、2 号等家系(100%),保存率最低的为 22 号家系(23.33%),不同家系保存率相差较大可能原因为：各家系抗风、抗寒能力参差不齐;初期采种时种子成熟度存在差异[3];受外界环境影响,如白蚁的局部侵蚀,确凿原因有待后续进一步探究。

3.2 香叶树各家系生长性状差异性与遗传力分析

遗传与变异是林木遗传改良与选择的关键因素,其潜力取决于遗传变异的发掘与利用[12]。相关研究表明[13],具有类似遗传特性树种的遗传变异不仅存在于林分、种间及种内,且由于环境和栽培措施的差异性,各种因素间存在一定的交互作用。表型为本身遗传特性以及外界环境因素共同影响所形成,苑海静[1]对麻栎优树家系研究发现,地上单株生物量存在家系与区组间显著互作效应,且区组效应为主要因素。本研究表明,香叶树各家系地径、胸径、树高和材积在家系、区组×家系均表现为极显著差异，且家系效应远大于区组与区组×家系互作效应,与王云鹏[15]对 10 年生木荷(*Schima* superba)家系木材基本密度受家系效应影响最大结果相同,表明各家系生长性状同时受到自身遗传特征以及环境影响，但主要由遗传基因型控制,选择潜力大,具有丰富的家系变异基础,有利于优良家系的综合选育。

遗传参数估算是林木选育的必要途径,可反映物种的遗传多样性，而性状遗传力是关键遗传参数之一,体现基因型的优劣程度。王云鹏[6]研究发现 10 年生木荷胸径和树高均受到中度以上的家系控制;肖德卿[16]研究表明栽培模式可改变木荷家系遗传特性。本研究发现香叶树地径、树高、胸径和材积的家系遗传力均处于 0.9 以上,属于强遗传控制,与彭洋[17]对棕榈[Trachycarpus fortunei(Hook.)H.Wendl.]半同胞家系评价结果相似,表明香叶树各生长性状主要受家系遗传特性控制,家系亲本遗传资源丰富。变异系数可衡量群体的分散程度,控制选择范围,是决定生长指标遗传潜力的重要指标。方差分析显示香叶树各性状变异系数处于 43%以上,其中材积变异系数高达 85.53%,表明香叶树各性状分化明显,材积较其余性状变异相对丰富。遗传参数估算结果显示,各性状表型变异系数均大于遗传变异系数，表明由于外部环境的影响,香叶树自身遗传性状特征会小于所对应的表型性状。材积的遗传和表型变异系数均大于胸径、地径和树高,与欧阳天林[18]对木荷种子园的结果相似,这表明在香叶树各生长性状中，材积的选择空间及潜力最大。其原因可能是林木对同质资源的竞争规律,即优势林木在早期生长时为了争夺光质资源与生存空间,优先选择树高生长策略,而胸径间存在差异性,从而由胸径和树高公式计算而来的材积差异性则更为显著[19]。

3.3 香叶树优良家系早期综合筛选与评价

主成分分析法是基于保存绝大多数优良基因资源前提下,将多个相关性指标压缩转换成少数个独立主成分综合指标的多元分析方法,简化了评价结构流程,避免信息重叠和主观性,使其结果更具科学合理性,广泛应用于各林木家系选育分析中[19]。本研究将地径、树高、胸径、材积和保存率 5 个生长性状指标转换成 2 个主成分,两者累计贡献率高达 95.857%,可表述绝大多数指标信息。通过各性状指标权重计算家系综合得分,并按照 20%的入选率筛选得分排序前 6 的家系,其品质综合表现最佳,可为种质选育提供实践参考。

聚类分析方法对各家系进行分析归类,保证同类

具有相似的遗传信息表达,可客观简明阐述各家系整体优劣性,梳理家系间亲远度,利于亲本选择以及优良种质筛选[20]。聚类分析将香叶树 29 个家系划分为 3 个类群,分别为最优家系、中等家系以及最劣家系,与生长指标及得分密切相关,为后续优良家系选育奠定基础。

分析林木表型生长性状,探究遗传变异特性与规律,明晰其变异特点与丰富度,对香叶树优良家系选择和开发利用起到至关重要的作用。于志民[20]研究发现,在主成分分析基础上采用聚类分析方法可使亲本遗传差异性增大,产生更为广泛的变异,有利于筛选出适应性较强的家系。本研究在具体生长性状值和将多个指标提炼成个数指标的主成分分析法基础上,以聚类分析进行整体分析,按照 20%入选率,选育出 2 号、1 号、5 号、4 号、27 号和 6 号为最优家系。这些家系可作为后续香叶树优良种质选育和促进林木生长的备选材料,其研究可为香叶树优树自由授粉家系遗传改良、种质推广、优质林分的营造,生态修复及景观提升,发挥良好的示范带动作用。

4 结论

3 年生香叶树优树 29 个自由授粉家系间存在丰富的遗传变异,具有较高的改良潜力,地径、胸径、树高和单株材积在家系间呈极显著差异,且遗传力均处于 0.9 以上,表现为强度遗传控制。主成分分析选育出的 2 号、1 号、5 号、4 号、27 号和 6 号共 6 个家系最优家系,在聚类分析中属于同一类,且得分均处于前列,各生长性状显著大于群体平均水平,可作为后续香叶树优良种质选育和促进乡土林木生长的备选材料。

参考文献:

[1] 苑海静,成向荣,虞木奎,等.麻栎优树自由授粉家系生长性状 3 地点间动态变异及优良家系选择[J].林业科学研究,2022,35(2):9-18.

[2] 季孔庶,樊民亮,徐立安.马尾松无性系种子园半同胞子代变异分析和家系选择[J].林业科学,2005(6):46-52.

[3] 陈清根.闽南地区 8 年生灰木莲家系评价与选择[J].森林与环境学报,2021,41(4):410-416.

[4] 陈雅丽,吕东,赵明,等.青海云杉半同胞家系子代测定与亲本评价[J].北京林业大学学报,2021,43(4):17-24.

[5] 张全全,张龙,李丽娟,等.观赏海棠自由授粉子代花色特征及选优[J].东北林业大学学报,2021,49(8):56-59.

[6] 王云鹏,张蕊,周志春,等.木荷优树自由授粉家系早期生长性状遗传变异动态规律[J].林业科学,2020,56(9):77-86.

[7] 王润辉,胡德活,郑会全,等.杉木无性系生长和材性变异及多性状指数选择[J].林业科学,2012,48(3):45-50.

[8] 董树斌,张志翔,黄佳聪.香叶树作为生物柴油原料树种的研究现状及其开发前景[J].中国农业大学学报,2014,19(6):95-101.

[9] 罗凡,费学谦,车运舒,等.香叶树挥发油、油脂等主要成分分析[J].林业科学研究,2015,28(2):284-288.

[10] 施恭明,江希钿,林力,等.福建省阔叶树二元材积方程修订[J].武夷学院学报,2015,34(3):10-14.

[11] 郑仁华,苏顺德,肖晖,等.杉木优树多父本杂交子代测定及母本选择[J].林业科学,2014,50(9):44-50.

[12] 梁坤南,黄桂华,林明平,等.琼西南柚木次生种源/家系多性状综合选择[J].林业科学研究,2020,33(6):13-22.

[13] MWASE W F,SAVILL P S,HEMERY G E.Genetic parameter estimates for growth and form traits in common ash (Fraxinus excelsior,L.) in a breeding seedling orchard at Little Wittenham in England.New Forests,2008,36(3):225-238.

[14] ZHANG Z,JIN G Q,FENG Z P,et al.Joint influence of genetic origin and climate on the growth of masson pine(Pinus massoniana Lamb.) in China[J].Sci Rep,2020,10:4653.

[15] 王云鹏,张蕊,周志春,等.10 年生木荷生长和材性性状家系变异及选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):85-92.

[16] 肖德卿,罗芊芊,范辉华,等.栽植模式对木荷幼林生长和形质性状家系变异影响[J].林业科学,2022,58(05):85-92.

[17] 彭洋,陆跃堂,赵杨,等.棕榈半同胞子代家系苗期测定及优良家系选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):78-84.

[18] 欧阳天林,朱柯帆,邱建勋,等.木荷种子园自由授粉家系生长遗传变异及初选[J].中南林业科技大学学报,2022,42(9):17-23.

[19] 魏丹,胡柔璇,赵庆,等.10 个羊蹄甲优良家系抗旱性研究[J].西北林学院学报,2017,32(5):130-136.

[20] 于志民,康文娟,涂淑萍.圆齿野鸦椿半同胞家系苗期生长性状变异分析与优良家系选择 [J]. 江西农业大学学报,2017,39(4):739-747.

Genetic Variation and Primary Selection of Growth Traits of Free Pollinating Family Young Forests of *Lindera Communis* Hemsl

XU Qingli

(Shunchang Pushang National Forestry Farm, Shunchang, Fujian 353205)

Abstract: To explore the genetic characteristics and variation of growth traits of the free pollination family of Lindera communis, and provide reference for the selection of local precious tree species suitable for local growth and genetic improvement, the experimental forest for the determination of the genealogy of 29 Lindera communis in 3 years was used as the research object, the growth traits and genetic differences of trees between different families were analyzed, and principal component analysis and cluster analysis were used for comprehensive evaluation. The results showed that the growth traits of the young forest of Lindera communis were rich in variability and were very significant among families, blocks and × families (P<0.01), and the genetic and phenotypic coefficients ranged between 0.37~1.39 and 0.62~2.34, respectively, among which the coefficient of variation was the largest by single plant volume, and the range of heritability of the family was 0.90~0.96, all of which were high-intensity variations. The results of correlation analysis showed that the survival rate was significantly correlated with each growth trait, indicating that the survival rate was closely related to each growth trait. Combined with principal component analysis and cluster analysis methods, according to the 20% inclusion rate, a total of 6 families No.1, No.2, No.4, No.5, No.6 and No.27 were selected as the optimal families, because the six families were ranked in the top 6 in the principal component analysis and in the cluster analysis, they all belonged to the same class, only the score order was slightly different. The research results can play a good demonstration role for the genetic improvement of free pollination lineage, germplasm promotion, high-quality forest stand creation, ecological restoration and landscape improvement.

Key words: lindera communis hemsl; families; growth characteristics; evaluation and selection; genetic variation

(责任编辑:叶丽娜)

艳锦竹芋叶斑病病原菌的分离与鉴定

张徐玥，宋蕴哲，李悦悦，聂传朋，李焰焰，蔡普默

（武夷学院　茶与食品学院，福建　武夷山　354300）

摘　要：明确在福建省武夷山市艳锦竹芋上发现的叶斑病病原菌，以期为该病害的防控提供参考。2021 年采集武夷学院园艺大棚内患叶斑病的艳锦竹芋（*Stromanthe sanguinea* ‘Triostar’）叶片，通过传统微生物培养方法分离纯化病原菌，并按照科赫氏法则测定其致病性，并对其进行形态学鉴定和基于 ITS 序列的分子鉴定，并通过系统发育树的构建，分析其遗传多样性。结果表明：从病叶中分离得到病原菌（标记为 YJ-2），具有致病性，且与田间发病症状一致。基于 ITS 序列进行 PCR 扩增和测序，序列表明菌株 YJ-2 和 NCBI 核酸数据库中拟茎点霉属菌 *Phomopsis* sp.（登录号 DQ780431.1）的相似性为 99.43%，且在系统发育树上聚在一起。根据形态特征和分子鉴定结果，将该地区艳锦竹芋叶斑病病原菌鉴定为拟茎点霉属菌，为国内首次报道拟茎点霉属菌引起的艳锦竹芋叶斑病。

关键词：竹芋科；致病菌；形态学观察；分子鉴定；系统发育树

中国分类号：s432.4+4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0044-04

艳锦竹芋（*Stromanthe sanguinea* Triostar）又名三色竹芋、艳锦密花竹芋等，是竹芋科（*Marantaceae*）紫背竹芋属（*Stromanthe*）的多年生草本植物[1]。艳锦竹芋原产于巴西，我国均有栽培，主要在南方地区。因其株型端正美观，叶面上绚丽多彩的斑纹深受人们喜爱，具有较高的观赏价值，是近年来流行的主要观叶植物之一[2]，目前被广泛应用于园林绿化中[3]。

竹芋科植物在生产栽培中，其叶部极易出现叶斑或叶枯等病害，影响植物的观赏价值，严重时植株容易出现死亡[4-8]。近几年，竹芋科植物在观叶植物的应用热潮中脱颖而出，我国引种品种和栽植面积都有所增加，然而病虫害问题日益严重，不少学者逐渐展开对竹芋科植物病害的研究。例如，2019 年吴碧云报道紫背竹芋炭疽病的病原菌为暹罗炭疽（*Colletotrichum siamense*）[9]；2020 年赵京鹏报道孔雀竹芋基腐病的病原菌为天南星丽赤壳（*Calonectria spathiphylli*），为国内首次报道[10]；2021 年陈灿钿等鉴定青苹果竹芋叶斑病的病原菌为平脐蠕孢（*Bipolaris sivanesaniana*），亦为首次报道[11]。我国引种竹芋科植物的历史不长，对其病害的研究较少[8,12]，而明确其病原菌种类是开展针对性病害防治及保障其安全生产的基础。

以福建省武夷山市武夷学院园艺大棚内采集的患叶斑病艳锦竹芋叶片为试验材料，通过对病原菌的分离纯化，对其进行致病性测定、形态学观察及分子鉴定，并结合系统发育树的分析，对引起艳锦竹芋叶斑病的病原菌进行鉴定，旨在为艳锦竹芋叶斑病的诊断及防控提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　艳锦竹芋病害症状观察与病叶采集

2021 年 5 月，在福建省武夷山市武夷学院园艺大棚内对艳锦竹芋病症进行观察拍照，并采集病叶作为

收稿日期：2022-07-28

基金项目：福建省一流专业（园艺）（SJZY2020002）；福建省自然科学基金青年项目（2020J05216）；武夷学院服务产业专项（2021XJFWCY01）；武夷学院高级人才引进项目（YJ201910）。

作者简介：张徐玥（2000-），女，汉族，主要从事园艺植物病原菌的分离鉴定研究。

通讯作者：蔡普默（1990-），男，汉族，副教授，主要从事植物保护的研究。

试验样品。

1.2 病原菌的分离、纯化及保存

参考方中达的常规组织分离法分离出病叶样品的病原菌并纯化[13]。将病叶样品用无菌水冲洗干净后,在超净工作台里切取若干块 2 mm×2 mm 病健交界处的病叶组织,用 75%酒精浸泡 30 s 消毒后,无菌水冲洗 3 次,风干后放置在马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基中央,28 ℃恒温培养。7 d 后挑取菌落边缘菌丝转接于 PDA 培养基中继续培养,重复 3 次。纯化后的菌丝块(Φ5 mm)放在装有无菌水的 10 mL 离心管中,置于-4 ℃冷冻保存。

1.3 病原菌的致病性测定

采用菌丝块针刺接种法,进行离体和活体两种接种方式[13],用 75%酒精和无菌水消毒健康叶片,在每片叶片上接种 1 处(每处穿刺 5 个小孔)。在菌落边缘切取菌丝块(Φ5 mm),菌丝面贴合接种处,覆盖湿棉球保湿。离体接种叶片置于培养皿内润湿的滤纸上,用湿棉球包裹叶片基部保湿。活体接种每盆植株用透明塑料袋隔绝污染,置于 28 ℃恒温培养箱保湿培养,按日常方法管理。用无菌 PDA 培养基块(Φ5 mm)做空白对照,每个处理 3 次重复。接种后,观察记录叶片发病情况。

1.4 病原菌的形态学观察

观察菌株在 PDA 培养基培养 7 d 的菌落,测量菌落直径,观察记录菌落形态特征。观察显微形态使用插片法诱导产孢,将有分生孢子的盖玻片制成临时装片,在 Nikon 相差倒置显微镜(Eclipse Ts2,成贯仪器(上海)有限公司)下观察其孢子大小、形状、产孢细胞形状和产孢方式,并对其形态进行显微拍照。

1.5 病原菌的分子鉴定

将纯化的菌株接种至新 PDA 培养基中,待菌丝长满培养基,刮取适量菌丝体,采用液氮研磨样本。使用真菌基因组 DNA 抽取试剂盒 (天根生化科技有限公司,北京)提取纯化菌株的 DNA,-20 ℃ 保存。1%琼脂糖检测合格后进行 ITS-PCR 扩增,引物选用 ITS1/ ITS4(TCCGTAGGTGAACCTGCGG/ TCCTCCGCTTATTGATATGC)(引物由上海派森诺生物科技有限公司合成)。PCR 反应体系为 10 μL 2×Taq PCR Master Mix 溶液、12 μL ddH_2O、2 μL DNA、1 μL 上游引物和 1 μL 下游引物。PCR 扩增程序为 94 ℃ 预变性 3 min;94 ℃ 变性 30 s,60 ℃退火 30 s,72 ℃延伸 1 min,30 个循环;72 ℃总延伸 7 min,16 ℃保存。对 PCR 产物进行电泳检测,后回收 PCR 产物进行 DNA 测序(由上海派森诺生物科技有限公司完成)。测序结果提交到国家生物技术信息中心 (National Center for Biotechnology Information,NCBI),后用 NCBI Blast 程序将拼接后的序列与 NCBI 核酸数据库中的数据进行比对,从中下载 8 株序列相似性高的菌株序列,并以 *Erysiphales* sp.作为外源序列,运用 MEGA11 软件,根据邻位归并(Neighbor-Joining,NJ)法,并用 Bootstrap 1000 次进行检验,构建系统发育树。

2 结果与分析

1.1 艳锦竹芋病害症状

叶片内部有不规则小病斑,病健交界明显,内部发白,边缘为黄褐色,病斑边缘具明显的褐色线纹。叶片正反面均大量散生大小不等的黑褐色近圆锥形粒状凸起,以叶面为主,牢牢附着在叶片上,中心为浅褐色。新生叶片无病斑,叶面上散生大量小粒状凸起(图 1)。

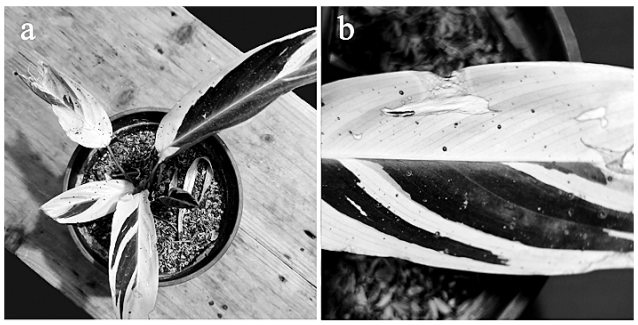


图 1 艳锦竹芋叶斑病症状

Fig.1 Symptoms of leaf spot disease of *Stromanthe sanguinea* 'Triostar'

a:患病艳锦竹芋植株;b:小病斑明显的病叶

1.2 病原菌的致病性测定

将分离纯化后的菌株进行致病性测定,其中菌株 YJ-2 发病情况与病叶样品内部小病斑相符,活体叶片发病较明显,初期在打孔点边缘小范围开始发病,形成干枯发黄的病斑;后期病斑蔓延融合,形成边缘明显、内部发白的块斑(图 2)。离体接种和活体接种均未出现黑褐色凸起小颗粒。

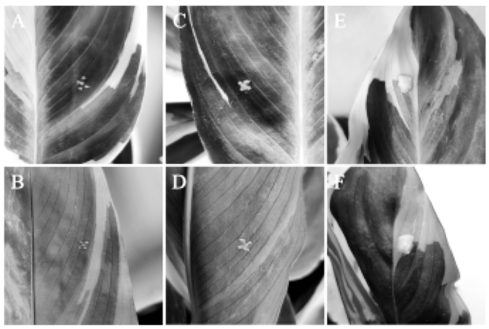


图 2　菌株 YJ–2 的致病性测定

Fig.2　Pathogenicity determination of strain YJ–2

A、B:活体接种 10 d 的发病情况(正、反面);C、D:活体接种 15 d 的发病情况(正、反面);E、F:活体接种 30 d 的发病情况(正、反面)

1.3　病原菌的形态学观察

菌株 YJ–2 在 PDA 培养基上 28 ℃培养 5 d 后,菌落直径约 75 mm,菌落辐射状生长,出现深浅相间的轮纹,边缘呈花瓣状;中心处菌丝为白色致密的绒絮状,边缘气生菌丝平铺(图 3–a);15 d 后,菌落出现黑色点状的分生孢子器,排列在同心圆的边缘,外缘出现黄色小点(图 3–c);菌落背面颜色渐深呈灰褐色的不规则同心环(图 3–d)。菌丝呈直角状分枝(图 3–e);分生孢子梗细长分枝,少数不分枝或簇状,生出内壁芽生瓶梗型产孢细胞 (图 3–f);α 型分生孢子卵圆形至长椭圆形单孢,孢子两端多有两个大油球,少数为 1 或 3 个(图 3–g);β 型分生孢子线型,多为笔直,有的稍弯曲或弯曲呈钩状,单孢,内无油球,无隔膜(图 3–h)。根据形态学观察,初步鉴定为拟茎点霉属菌(*Phomopsis* sp.)。

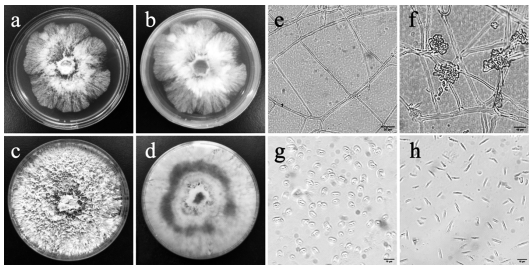


图 3　菌株 YJ–2 的形态学观察

Fig.3　Morphological observation of strain YJ–2

a、b:PDA 培养 5 d 后的菌落正、反面形态; c、d:PDA 培养 10 d 的菌落正、反面形态;e: 菌丝 (400×);f: 分生孢子梗(400×);g:α 分生孢子(400×);h:β 厚垣孢子(400×)

1.4　病原菌的分子鉴定

拼接测序结果得出,菌株 YJ–2 序列长度为 530 bp(图 4)。拼接后序列与 NCBI 核酸数据库中的数据进行 BLAST 比对,结果显示菌株 YJ–2(登录号 ON899814)和 NCBI 数据库中拟茎点霉属菌 *Phomopsis* sp.(登录号 DQ780431.1)的相似性达 99.43%。系统发育树结果显示, 菌株 YJ–2 与 *Phomopsis* sp. 聚为一支, 置信值为 97%(图 5),亲缘关系比较近,结合形态学观察,将菌株 YJ–2 鉴定为拟茎点霉属菌(*Phomopsis* sp.)。

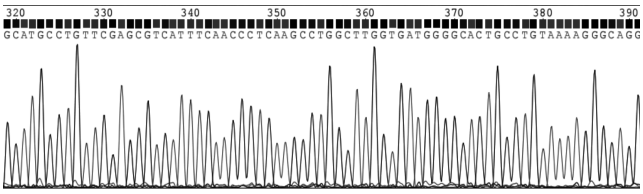


图 4　菌株 YJ–2 部分测序峰图(320bp–390bp)

Fig.4　Partial sequencing of strain YJ–2 (320bp–390bp)

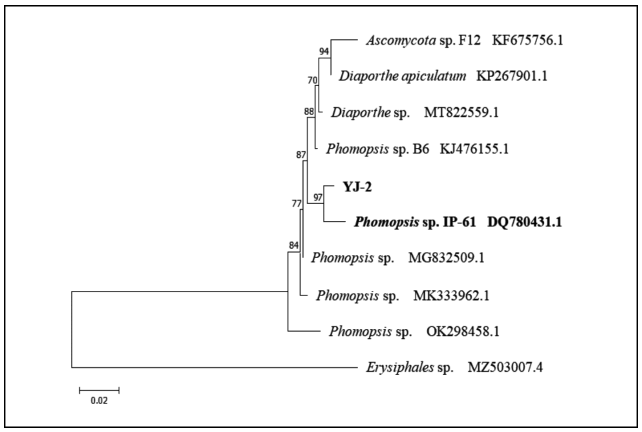


图 5　基于 ITS 序列构建的菌株 YJ–2 与相关菌株的系统发育树

Fig.5　Phylogenetic tree of strain YJ–2 and related strains based on ITS sequences

3　讨论与结论

以武夷学院园艺大棚内患叶斑病艳锦竹芋的病叶为试验材料,通过对病原菌的分离纯化,将得到的菌株进行致病性测定,并对其形态学观察、分子鉴定,并结合系统发育树的分析, 确定菌株 YJ–2 为拟茎点霉属菌,是该病株艳锦竹芋叶斑病的致病菌。

拟茎点霉属是半知菌类、腔孢纲、球壳孢目,有性态为间座壳属(*Diaporthe*)[14],该属寄主范围广,为害多种植物,其中包含一些观赏类植物,如竹芋科、棕榈科、凤梨科等[15–17]。拟茎点霉属的种级分类至今没有明确提出,如今还是主要依据寄主来划分,寄生在同属植物上且形态一致的菌可以划分为一个种; 寄生在不同

属植物上形态相似的却被划分为另一个种[18]。2008 年曾莉等曾研究发现拟茎点霉（*Phomopsis marantaceae*）可引起竹芋拟茎点霉叶斑病,危害多种竹芋,但未发现危害艳锦竹芋,试验病株的病症与其描述的一致[8]。

仅对艳锦竹芋叶斑病的一种致病菌进行分离和初步鉴定,今后应深入开展发病规律、孢子萌发条件、致病机理、病原菌与宿主之间关系等研究,并对鉴定的致病菌进行生防制剂的筛选,掌握更多的病害发生信息,为今后竹芋科观叶植物的病害防治提供一定的参考和理论依据。

参考文献:

[1] 范晓荣. 不同植物激素处理对紫背竹芋的生长促进研究[J]. 种子科技,2021,39(13):21-2.

[2] 郑芝波,李巧红,叶智东,等. 12 个竹芋品种生态适应性研究与利用[J]. 广东农业科学,2014,41(5):108-11.

[3] 刘丽,陈少萍. 紫背竹芋繁殖与病虫害防治[J]. 中国花卉园艺,2018(22):42-3.

[4] 赵书梅. 竹芋主要病虫害的发生及防治[J]. 现代农业科技,2010(1):194.

[5] 薛泉. 竹芋的主要病害及防治 [J]. 花木盆景 (花卉园艺),2003(5):13.

[6] 黄婷. 瑞昌山药炭疽病菌初步研究及其病毒和线虫病害病原鉴定[D]. 南昌:江西农业大学,2015.

[7] 洪伟雄. 福建省棕榈科作物病害调查与研究[D]. 福建:福建农林大学,2008.

[8] 曾莉,习平根,姜子德,等. 竹芋科观赏植物真菌病害的病原鉴定[C]//彭友良,王振中.中国植物病理学会 2008 年学术年会论文集. 广东:中国农业科学技术出版社,2008:202-203.

[9] 吴碧云. 广州市六种花卉真菌性病害病原鉴定[D]. 广州:仲恺农业工程学院,2019.

[10] 赵京鹏. 广州九种观赏植物真菌性病害病原鉴定[D]. 广州:仲恺农业工程学院,2020.

[11] 陈灿钿,麦章龙,游春平,等. 青苹果竹芋平脐蠕孢叶斑病病原菌的鉴定[J]. 植物病理学报,2021,51(5):817-21.

[12] 肖飞. 斑叶紫背竹芋炭疽病病原的初步鉴定[J]. 安徽农业科学,2013,41(21):8902-8904.

[13] 方中达. 植病研究方法[M].3 版,北京:中国农业出版社,1998:122-384.

[14] 张岳平,瞿华香,罗绍春,等. 一些重要作物拟茎点霉属病原生物学及致病机制研究概况[J]. 中国农学通报,2013,29(33):327-32.

[15] 曾莉,习平根,姜子德,等. 竹芋科植物上拟茎点霉属一新种[J]. 仲恺农业技术学院学报,2004(3):19-21.

[16] 曾莉,戚佩坤,姜子德. 广东省凤梨科观赏植物真菌病害鉴定[J]. 热带作物学报,2004(3):47-52.

[17] 牛晓庆,唐庆华,余凤玉,等. 油棕叶斑病的病原鉴定及其生物学特性[J]. 江西农业学报,2011,23(11):103-107.

[18] 劳佳萍. 植物内生真菌拟茎点霉生物多样性研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.

Isolation and Identification of Pathogens Causing Leaf Spot on *Stromanthe sanguinea* Triostar

ZHANG Xuyue, SONG Yunzhe, LI Yueyue, NIE Chuanpeng, LI Yanyan, CAI Pumo

(School of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: The pathogen causing leaf spot on Stromanthe sanguinea that found in Wuyishan city, Fujian province was confirmed so as to provide reference for the prevention and control of this disease. The leaves of *S. sanguinea* with spot disease were collected from gardening greenhouses of Wuyi University on 2021. The pathogens were isolated and purified by traditional microbial culture method and the pathogenicity was verified by Koch´s rule. The pathogen specie was identified using morphological method and ITS-based molecular method. Moreover, the phylogenetic tree was constructed to analyze the fungus genetic diversity. Results showed that the pathogen (named YJ-2) isolated from diseased leaves were pathogenic to the host plant and the symptom was consistent with that in field. PCR amplification and sequencing were conducted based on ITS sequence. The results showed that the strain YJ-2 was 99.43% similar to *Phomopsis* sp.(Accession number DQ780431.1) in NCBI nucleic acid database, and gathered together on the phylogenetic tree. Based on the morphological features and molecular identification results, the pathogen of *S. sanguinea* leaf spot was identified as *Phomopsis* sp., which was the first report of *Phomopsis* sp. causing *S. sanguinea* leaf spot in China.

Key words: marantaceae; pathogens; morphological observation; molecular identification; phylogenetic tree

(责任编辑:马阿曼)

闽北古亭水库沉积物粒度组成及其对气候的响应

叶宏萌，李青玉，华伟平，苏丽鳗，左邦瑞，陈菱，林江玲

（武夷学院，生态与资源工程学院，福建省生态产业绿色技术重点实验室，福建 武夷山 354300）

摘　要：通过放射性核素 ^{137}Cs 和 $^{210}Pbex$ 估算水库沉积物柱芯年代，以水库竣工时间为起始时间建立了古亭水库沉积物的年代序列。运用沉积物粒度组分分析 54 年来水库沉积对气候的响应特征，结果表明：在 2010 年前沉积速率变化幅度较小，沉积环境较为稳定，而 2010 年后沉积速率变化幅度较大，该时期异常变化与人类活动密切相关。根据中值粒径特征并结合年降雨量、年平均气温变化，揭示了气候变化和人类活动对水库沉积物的影响：(1)中值粒径与降雨量变化整体对应性不高，不过对于部分特殊降水年份仍具有指示作用。如 1971 年枯水年，中值粒径相应的出现了谷值；1998 年丰水年，中值粒径相应地出现了峰值。(2)在 2012 年前中值粒径变化呈上升趋势对应了气候的升温，在 2012 年后中值粒径与气温变化同步性下降，该阶段主要反映流域产业结构发生调整、人类活动对流域环境的影响。

关键词：沉积物粒度；^{137}Cs；$^{210}Pbex$；气温；降雨量

中图分类号：X524　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0048-05

古亭水库位于武夷山市东南部地区，地处闽江流域建溪水系上游。在水库底部广泛且连续分布着沉积物质[1]。水库沉积物对流域环境变化具有敏感响应，其粒度参数可反映沉积环境中物质来源、水动力环境、以及水动力条件等[2]。因此，通过对水库沉积物的粒度数据的分析，并结合历史年降雨量和平均气温研究，有助于了解水库现代沉积过程以及对区域气候变化的响应，也为开展区域气候环境重建以及改善水库水质提供科学依据[3-4]。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区为福建省武夷山市五夫镇古亭水库(118°12′10″ E~118°19′20″ E，27°38′15″ N~27°40′50″ N)，水源主要依赖地表径流和水面降水补给，主要来源于建溪水系上游的崇阳溪的支流。该水系属于放射性水系，水力资源富饶，流程短，水流急，坡降大，平均坡降 0.8‰。该水库于 1965 年 5 月建成，是介于河流与湖泊之间的半人工半自然水体，具有滞洪和蓄洪的作用，同时用于灌溉用水及发电。古亭水库的流域面积为 35.29 km^2，水库水面 0.19 km^2，死库容 3.2 万 m^3，总库容 305 万 m^3。

1.2　样品采集

2020 年 11 月 17 日，对古亭水库(118°12′10″ E~118°19′20″ E，27°38′15″ N~27°40′50″ N)进行采样，利用柱状采样器采集柱状沉积物样品。沉积物样品均现场放进密封袋中，贴上标签，防止样品混淆。封好塑料袋袋口并将其放入样品收集容器中，送回实验室进行分类和重新标记。

1.3　样品处理与测试

将沉积物样品放置在通风良好的室内，剔除样品中的树枝、叶等杂质，自然风干后在室温下贮存直至测试分析。沉积物采样深度为 77 cm，0~72 cm 按 1 cm 分，分 72 层，73~77 cm 按 5 cm 分，分 1 层，共获 73 个

收稿日期：2022-04-26

基金项目：福建省一流本科课程(SJKC20201202)；福建省一般教改项目(FBJG20210044)；武夷学院课程建设与改革(课程思政)研究项目(KC202104)；国家级大学生创新训练项目(202110397016)。

作者简介：叶宏萌(1984-)，女，汉族，副教授，主要从事流域环境保护与环境地球化学的研究。

样品备用。取部分自然风干后的沉积物样品研磨过筛(100 目),烘干(105 ℃)后在相同规格的塑料容器中称重约 5~10 g,用蜡密封 30 天备用。

放射性元素(^{137}Cs 与 ^{210}Pbex)用高纯锗探测器 γ 谱仪(GWL-120-15,ORTEC,USA)测定;沉积物粒度用 Bettersize2600E 激光粒度分析仪 (丹东百特仪器有限公司生产)湿法测定沉积物样品。详细步骤为:少量多次加入待测土样, 直至遮光控制在 10%~15%范围内后等待机器自动进样测量。测量结果按照 Udden-Wentworth 标准将沉积物粒级分类为黏粒(<4 μm)、粉粒(4~64 μm)和砂粒(>64 μm)三个级别进行数据处理。

1.4 数据处理

沉积物粒度参数指标的统计分析采用统计软件 Excel 进行,而放射性元素(^{137}Cs 与 ^{210}Pb)沉积定年与沉积物粒度的相关采用 Origin2019b 进行。

2 结果与分析

2.1 沉积物沉积年代及沉积速率的确定

2.1.1 沉积物沉积年代

基于 210 Pbex 测年的 CRS 模式[5]估算古亭水库沉积物柱芯年代,该模型中,沉积物每层的沉积年代可表述为:

$$t=\lambda^{-1}\ln\ (A_h/A_0)$$

式中:t 为沉积物某一层的沉积年代(a),A_0 为沉积岩芯中 ^{210}Pbex 的累计输入总量(Bq·cm^{-2}),A_h 为一定深度 h 以下各层沉积物中 ^{210}Pbex 的累计总量(Bq·cm^{-2}),λ 为 ^{210}Pb 的放射性衰变常数(λ=0.031 14/a)[6]。

^{210}Pbex 的比活度随着质量深度的增加呈不规则波动下降趋势,而 ^{137}Cs 的比活度随质量深度的增加呈现了两个鲜明的蓄积峰,分别是质量深度为 33.87 g·cm^{-2} 和 38.79 g·cm^{-2},其对应年代为 1986 年和 1975 年。造成 1986 年 ^{137}Cs 次蓄积峰的主要来源可能为 1986 年切尔诺贝利核电站核泄漏造成 ^{137}Cs 在全球范围内散落[5,7];而造成 1975 年 ^{137}Cs 最大蓄积峰的主要原因可能为:中国在 20 世纪 70 年代西北地区进行大气核试验产生了放射性沉降。在云贵高原、东部平原的不少湖区 ^{137}Cs 主次蓄积峰对应年代为 1975、1986 年[8],所以将 1975 年和 1986 年达到的蓄峰值作为辅助定年时标是具有一定可信度的,见图 1。

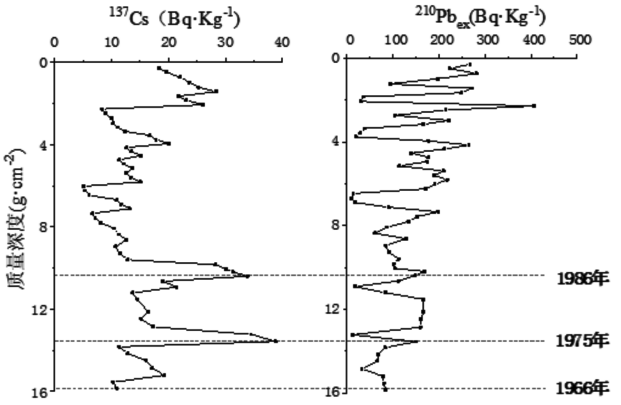


图 1 沉积物剖面质量深度-比活度关系图

Fig.1 The relationship between the quality depth and the specific activity of the sediment profile

2.1.2 沉积物沉积速率

利用沉积速率计算公式:

$$S=Z/t$$

式中:S 是沉积速率(g·cm^{-2}·a^{-1}),Z 为质量深度(g·m^{-2})是某一深度 Z 以上沉积物的累积值,t 为沉积物某一层的沉积年代(a)[9]。

通过 CRS 模式估算得出的水库柱状样沉积历史可追溯到 1877 年。由于古亭水库于 1958 年建造,于 1965 年竣工,故本文选取 1966—2020 年作为研究时间段, 即只分析深度 62 cm 以上至表层的沉积物性质。结合 ^{137}Cs 蓄积峰定年, 将研究时间段分为三个节点(如表 1), 沉积物在 1966—1975 年、1975—1986 年、1986—2020 年之间的平均沉积速率分别为 0.29、0.30、0.33 g·cm^{-2}·a^{-1},说明古亭水库 54 年来的沉积速率变化幅度较小,沉积环境较为稳定。

表 1 ^{210}Pbex 时标计年沉积速率结果

Tab.1 Results of annual deposition rate on ^{210}Pbex time scale

时标 (a)	对应层节 (cm)	累加质量深度 (g·cm^{-2})	计时区间 (a)	平均沉积速率 (g·cm^{-2}·a^{-1})
1966	62	15.84	1966—1975	0.29
1975	54	13.55	1975—1986	0.30
1986	46	10.40	1986—2020	0.33

图 2 更直观的反应沉积速率变化趋势,可知沉积速率呈三段不同变化趋势:第一段为 1966—1998 年,沉积速率稳定在 0.29~0.32 g·cm^{-2}·a^{-1}, 说明此期间内沉积过程受影响小;第二段为 1998—2010 年,沉积速

率呈小幅度稳步上升趋势;第三段为 2010—2020 年,此阶段受较为频繁的人为影响,沉积速率整体呈显著上升趋势,波动幅度较往年更大,尤其在 2017 年后沉积速率激增。结合过去 54 年古亭水库年降雨量数据分析可知,1998 年和 2010 年为丰水年, 随降雨量增大, 因降雨冲刷地表而入库沉积的泥沙量上升。据 2013—2020 年统计年鉴可知,2013 年之后政府对产业结构进行调整,促进了水产业发展,水生生物的活动改变了沉积物水动力环境,加速了沉积过程。

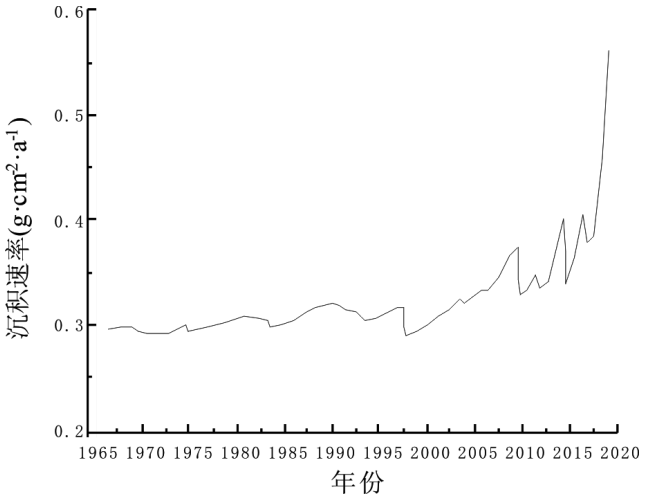


图 2 沉积速率与年代示意图

Fig.2 Schematic diagram of deposition rate and age

2.2 沉积物粒度机械组成及特征

2.2.1 沉积物粒度机械组成

沉积物的优势粒级是粉粒,其主导了沉积物的粒度变化,含量达 80%以上;黏粒含量和砂粒含量较低,大体相当。粉粒和黏粒在研究区分布比较均匀,而砂粒组成分布较为杂乱, 这可能与水库周边不同时期、不同强度的地表径流有关,地表径流汇入水库时将泥沙带入湖泊并蓄积在沉积物中,导致不同深度的沉积物粒径分布存在差异。粒度分析结果表明:黏粒组分变化范围介于 7.24%~15.60%之间,平均值为 10.51%;粉粒组分总体在 73.51%~87.74%之间起伏,平均值为 83.48%;砂粒组分波动于 1.44%~19.12%之间,平均值为 6.01%。整体黏粒含量较小,粉粒含量较多,砂粒变化幅度最大,见图 2。

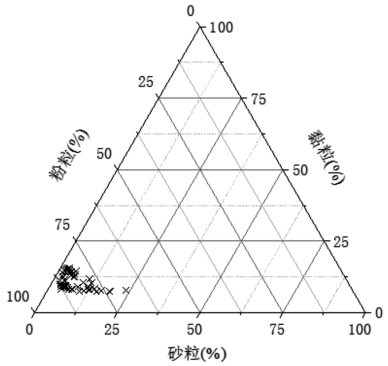


图 3 五夫镇古亭水库沉积物粒级分布三角图

Fig.3 Triangular diagram of sediment size distribution of Guting Reservoir in Wufu Town

2.2.2 沉积物粒度垂直变化特征

整体来看,不同粒级组分含量随深度的变化存在较为明显的差异,砂粒组分含量随深度变化表现出缓慢波动后大幅度增加又大幅度减小后又大幅度增加;粉粒在整体所占比重都是最大的,变化趋势是先缓慢波动后剧烈减少后剧烈增加又剧烈减少,粉粒组分与砂粒组分两者的变化趋势呈明显的负相关;黏粒含量变化趋势是先缓慢增加后大幅度增加又大幅度减少,但整体含量不是很高。不同粒级含量随深度的变化显示,3 个粒级变化曲线中粉粒和砂粒的变化范围具有明显的波动特征,可能反映了搬运沉积动力强度的阶段性变化,见图 4。

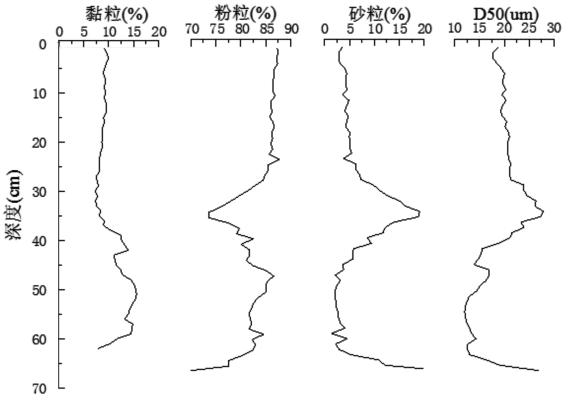


图 4 五夫镇古亭水库沉积物粒度随深度变化的粒度分布特征

Fig.4 Grain size distribution characteristics of sediments in Guting Reservoir, Wufu Town, changing with depth

3 讨论

3.1 沉积物粒度对降雨量响应的研究

中值粒径是研究环境对沉积物粒度变化特征影

响的重要参数[10],在短尺度高分辨率的气候序列里:粒度偏粗指示降水量偏高的湿润年份,粒度偏细指示降水量偏低的干旱年份[10,11]。

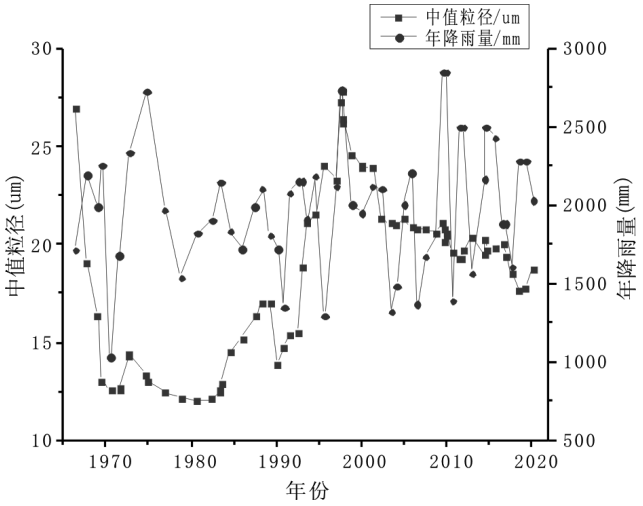


图 5 古亭水库沉积物中值粒径与降雨量变化关系图

Fig.5 The relationship between the median particle size of the sediments and rainfall changes in Guting Reservoir

从上图可见,粒度与降雨量变化整体对应性不高,但对于部分特殊降水年份仍具有指示作用。自1966 到 1971 年中值粒径呈明显下降趋势,响应了1971 年枯水年。降雨量匮乏使得水位下降,湖面收缩,粗颗粒不易到达库区沉积,导致沉积物颗粒偏细;自1990 年到 1998 年中值粒径变化呈显著上升趋势,响应了 1998 年丰水年。在 1998 年洪水期间地表径流携带陆源粗颗粒物的能力增强,更多的粗颗粒入库沉积。而 1975 年与 2010 年虽也为丰水年,但中值粒径在对应年份的指示性并不明显。造成指示性不一致的原因可能为:在 1975 年,库区植被环境稳定,其涵养水源能力较强,使得中值粒径大小不能明显指示降雨量。而从 20 世纪 70 年代末开始我国实行改革开放政策,掀起的开荒热潮破坏了流域原有植被环境,导致中值粒径大小能够直观反映降雨量变化。直至 1998年发生特大洪涝灾害,我国发布了一系列环境保护政策,使流域植被覆盖率增高,削弱了地表径流搬运能力,降雨量对沉积结果影响减小[9,11];

3.2 沉积物粒度对气温响应的研究

参照中值粒径与降雨量的关系图,得到中值粒径与气温之间的变化关系图,见图 6。

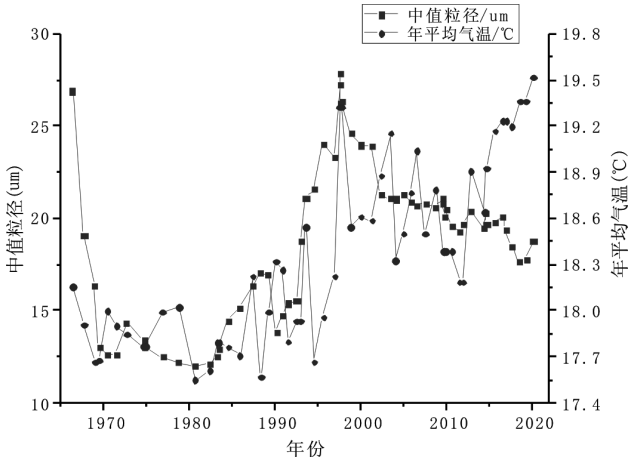


图 6 古亭水库沉积物中值粒径与气温变化关系图

Fig.6 The relationship between the median particle size of the sediments and temperature changes in Guting Reservoir

1966—2020 年间年平均气温呈显著上升趋势,中值粒径则呈“u 型”先减后增又平缓下降变化。中值粒径对年平均气温整体变化的响应大致分为 2 个阶段:

第一阶段(1966—2012 年):2012 年前中值粒径与气候升温具有良好的同步性:中值粒径较小指示年平均温度偏低,中值粒径较大指示年平均温度升高。尤其在 1995—1998 年二者出现相对峰值。该时期随温度升高蒸发量增大,库区水位下降,加之同时期流域生态因大力开荒受到破坏,水土流失加剧,地表径流携带粗颗粒物入库量增大,导致中值粒径值显著增加。

第二阶段(2012—2020 年):该阶段主要受频繁的人类活动影响,中值粒径不能有效指示气温变化甚至出现局部呈负相关。政府于 2013 年前后在流域开展了烟草援建灌区工程,减少了地表裸露面积,加之近几十年水库的气候由冷湿向暖湿转变,这种过渡性的气候适宜植被生长,最终使得流域植被覆盖率上升,水土流失情况得以改善,入库粗颗粒物质相应减少。所以该时期沉积物粒径变化呈平缓下降趋势,这与刘兴起等对青海湖沉积物变化研究结论一致[12,13]。

4 结论

基于武夷山市古亭水库柱状沉积物的粒径组成情况,结合 ^{137}Cs 与 $^{210}Pbex$ 计算所得的相应沉积年代,并参照流域 1966—2020 年内降雨量与气温变化数据进行比对分析,初步得到以下结论:

(1)中值粒径与降雨量变化整体对应性不高,不过对于 1971 年枯水年、1998 年丰水年仍具有指示作用,但不能指示其他丰水年,可能与 20 世纪 70 年代末掀起的开荒热潮、特大洪灾后开始发展的环境保护有一定关系。

(2)中值粒径对气温变化的响应性大致可分为两个时期:2012 年以前中值粒径与气候升温具有良好的同步性,中值粒径较小指示年平均温度偏低,中值粒径较大指示年平均温度升高。2012 年以后,政府修缮了水利设施,扩大了作物养殖范围,加之近几十年水库的气候由冷湿向暖湿转变,处于这种过渡性气候下的植被长势良好,使得流域植被覆盖率上升,水土流失情况得以改善。比起自然因素,频繁的人类活动对沉积结果的影响更明显,这种影响对沉积物粒度特征不是小幅度的波动,而是显著的改变。

参考文献:

[1] 范成新,刘敏,王圣瑞,等.近 20 年来我国沉积物环境与污染控制研究进展与展望[J].地球科学进展,2021,36(4):346-374.

[2] 王昱,连运涛,冯起,等.筑坝拦截对黑河河道沉积物粒度空间分布的影响[J].湖泊科学,2019,31(5):1459-1467.

[3] 叶远达,徐海,蓝江湖,等.云南程海沉积物粒度对水深的指示意义[J].第四纪研究,2018(4):1007-1016.

[4] 孙建伟,赵春发,陈哲,等.赵村水库底泥沉积物调查研究[J].环境保护前沿,2021,11(2):273-280

[5] ABRIL J M. Radiometric dating of recent sediments: On the performance of 210Pb-based CRS chronologies under varying rates of supply[J]. Quaternary Geochronology, 2018, 51:1-14.

[6] 万国江.现代沉积的 210Pb 计年[J].第四纪研究,1997(3):230-239.

[7] 项亮,王苏民,薛滨.切尔诺贝利核事故泄漏 137Cs 在苏皖地区湖泊沉积物中的蓄积及时标意义[J].海洋与湖沼,1996(2):132-137.

[8] 曾理,吴丰昌,万国江,郑建.中国地区湖泊沉积物中 137Cs 分布特征和环境意义[J].湖泊科学,2009,21(1):1-9.

[9] 孙清展,臧淑英,肖海丰.黑龙江连环湖近现代沉积速率及粒度反映的气候干湿变化 [J]. 地理与地理信息科学,2013,29(3):119-124.

[10] 郁科科,盛恩国,刘斌,刘星星,蓝江湖.短时间尺度上湖泊沉积物粒度指示的气候意义:以朝那湫为例[J].第四纪研究,2020,40(5):1231-1239.

[11] 蒋庆丰,刘兴起,沈吉.乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义[J].沉积学报,2006(6):877-882.

[12] 张星,彭云峰,谢怡芳,陈惠.闽江河口湿地气候变化趋势与突变分析[J].中国农业气象,2010,31(3):364-368.

[13] 刘兴起,王苏民,沈吉.青海湖 QH-2000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义[J].湖泊科学,2003(2):112-117.

Grain Size Composition of Sediment from Guting Reservoir in Wufu Town and Its Response to Climate

YE Hongmeng, LI Qingyu, HUA Weiping, SU Liman, ZUO Bangrui, CHEN Ling, LIN Jiangling

(Fujian Key Laboratory of Eco-Industrial Green Technology, School of Ecology and Resources Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: The core age of reservoir sediment is estimated by radionuclides ^{137}Cs and $^{210}Pbex$, and the age series of Guting reservoir sediment is established with the completion time of the reservoir as the starting time. The response characteristics of reservoir sedimentation to climate in the past 54 years are analyzed by using sediment particle size composition. The results show that the change range of sedimentation rate before 2010 is small and the sedimentary environment is relatively stable, while the change range of sedimentation rate after 2010 is large. The abnormal change in this period is closely related to human activities. According to the characteristics of median particle size, combined with the changes of annual rainfall and annual average temperature, this paper reveals the impact of climate change and human activities on reservoir sediments: (1) the overall correspondence between median particle size and rainfall change is not high, but it still has indication function for some special precipitation years. For example, in the dry year of 1971, the median particle size appeared valley value accordingly; In the wet year of 1998, the median particle size correspondingly peaked. (2) Before 2012, the change of median particle size showed an upward trend, corresponding to the warming of climate. After 2012, the change of median particle size and temperature decreased synchronously. This stage mainly reflects the adjustment of river basin industrial structure and the impact of human activities on river basin environment.

Key words: grain size of Sediment; ^{137}Cs; $^{210}Pbex$; temperature; rainfall

(责任编辑:马阿曼)

回收 PET 改性 PEI 薄膜在油水分离中的应用

毛竹简，廖夏露，罗云红，饶瑞晔 *

（武夷学院　生态与资源工程学院，福建　武夷山　354300）

摘　要：利用回收聚对苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene Terephthalate,PET)瓶作为添加剂,并利用湿式相转化方法制备 PET/聚醚酰亚胺(Polyetherimide,PEI)混合膜,应用于水中乳化油分离的研究。结果表明,随着 PET 比例由 0 增加至 15%,混合膜的纯水通量和乳化油的去除通量越大,去除效率越低。在 0.2 MPa 操作压力下;5%PET/PEI 薄膜的纯水通量、渗透通量、乳化油分离效率以及反洗后通量分别为 883.33、586.67 L/m^2 h、90.66%及 365.26 L/m^2 h,具有较佳的通量及乳化油分离效率。

关键词：回收 PET;PEI;薄膜;乳化油

中图分类号：X52;TQ032　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0053-06

聚对苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene Terephthalate,PET)是一种半结晶型的聚酯,拥有优良的热、力学性能和环境稳定性。由于其具有无毒、耐用而且透明的特性,因此被广泛应用于一次性饮料瓶和食品包装中[1-5]。有数据显示,全世界的饮料包装中,PET 瓶装所占的份额都超过了 70%,是使用率最高的塑料瓶[6]。全球塑料年产量在快速的城市化和人口增长的驱动下,预计到 2050 年,塑料年产量可能会增加到 12 亿多 t[7]。塑料制品与人类生活息息相关,它们在给人类带来便利的同时,也存在着极大的健康和环境威胁。据估计,每年有大约 300 万 t 微塑料泄漏到环境中[8-9],微塑料的疏水表面会吸引重金属、药物毒物、阻燃剂和其他增塑剂等共污染物,这些微塑料可以轻易进入生物有机体,对植物、陆地和水生动物造成危害[10-11]。微塑料可以渗透食物网并沿着食物链运输,人类被认为是食物链中的顶级消费者,非常容易受到微塑料污染[12-13]。

PET 是生物不可降解的材质,使用后会对环境造成负担,也导致能源短缺[14]。鉴于 PET 塑料具有优良的耐磨性、尺寸稳定性及电绝缘性,因此利用回收废弃 PET 应用于新型分离膜制作或许使其具有良好的结构,可以提升膜的性能[15-16]。

加工工业排出大量含油废水及石油开采外,固体燃料热加工、轻工业中的制革废水、铁路及交通运输业、屠宰及食品加工等都是含油废水的重要来源[17]。油排入水体后会迅速地在水面形成一层致密油膜,隔绝空气与水进行氧交换,对水中生物的呼吸和光合作用造成致命的影响;同时会破坏水域景观,并通过食物链对人类健康造成影响。膜分离的方法设备简单,出水水质好,但是缺点也很明显,膜清洗困难,处理量偏小,运行成本高都是目前面临的问题[18-19]。

本研究利用湿式相转化方法制备回收 PET/聚醚酰亚胺(polyetherimide,PEI)混合膜,利用回收 PET 的化学特性与微粒形成间距,可能会造成混合膜孔洞与

收稿日期：2022-06-15

基金项目：福建省自然基金面上项目(2020J01413);福建省教育厅中青年项目 (JAT200663);中央引导地方科技发展专项(2019L3021);大学生创新创业训练计划项目(201510397014)。

作者简介：毛竹简(1989-),女,汉族,讲师,从事高分子膜制造及食品废水治理研究。

通讯作者：饶瑞晔(1981-),男,博士,从事膜分离技术及污水治理研究。

孔隙率的改变,同时增加过滤通量与效率。因此,为探讨掺杂回收 PET 对混合膜之特性与操作性能对油水分离的影响。

1 实验材料和方法

1.1 PET/PEI 复合膜的制备

制备的混合膜皆采用湿式转换法,采用先前研究利用加热搅拌混合的方式将不同比例的高分子材料 PEI (1000-7101, SABIC Innovative Plastics, USA)和 PET(农夫山泉矿泉水瓶)与两种不同浓度的多孔形成剂聚乙二醇 (Polyethylene glycol, PEG, 西陇化工有限公司) 和溶剂 N-甲基吡咯烷酮 (N-Methyl pyrrolidone, NMP ,西陇化工有限公司)进行充分混合[20],在混合过程中,先利用油浴锅加热温度 150 ℃,并持续加热搅拌 5 h,趁热将铸膜液均匀的涂抹在玻璃板上,利用刮膜机将其刮出成膜,随后将玻璃板上所刮出膜放入恒温电子防潮箱(调节湿度为 70%)中干燥 8 h,之后用去离子水冲洗玻璃板上的成膜使其慢慢脱落,最后将膜存放在含酒精的混和溶液(10%)中保存至测试,制作出来的高分子混合膜如图 1。不同混合膜的比例如表 1 所示。

图 1 PET/PEI 混合膜(此为 M3 膜)

Fig.1 PET/PEI mixed membrane (M3 membrane)

1.2 油水乳化液的配制及分析

参考先前研究[20],取 2.0 g 食用油(金龙鱼食用调和油)于洁净的 500 mL 烧杯中,再加入 200 mL 去离子水,使用数显恒速搅拌器在室温情况下以转速 300 r/min 搅拌 2 h 至混合液呈乳白色溶液, 且表层浮油消失,得到 10 g/L 的乳化油标准液。之后以石油醚(AR 级,国药集团化学试剂有限公司)为溶剂,用紫外分光光度计(UV-1800,上海美谱达,256 nm) 测定标准样的吸光度,绘制标准曲线[16]。

表 1 不同混合膜的比例一览表

Tab.1 The proportion of different mixed membranes

模样品编号	组份/%			
	高分子(20%)		溶剂(80%)	
	PET	PEI	NMP	PEG
M1	0	100		
M2	2.5	97.5		
M3	5	95		
M4	7.5	92.5	80	20
M5	10	90		
M6	15	85		
M7	20	80		

1.3 膜分离反应器及分析测试

2.3.1 膜通量的测试[21]

(1)将实验装置如图 2,连接过滤系统,试验前通入一定量的去离子水进行清洗五分钟。

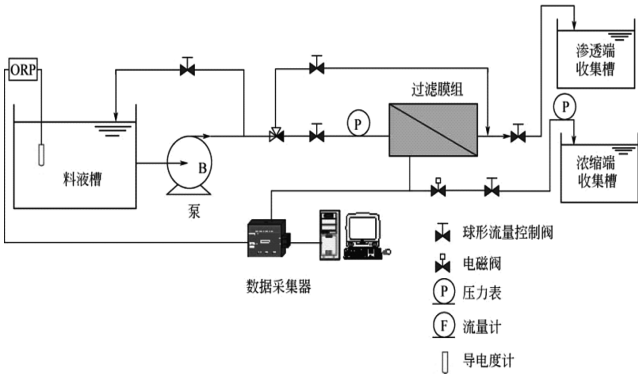


图 2 过滤膜池装置图

Fig.2 Diagram of filter membrane tank

(2)取出先前制备好的催化膜,将不同比例的催化膜经由扫流式平板过滤单元完成过滤试验,膜组有效膜过滤反应面积为 7 cm×15 cm。

(3)打开泵,控制泵的入口压力,通入去离子水,启动泵后开始计时, 收集渗透端溶液和浓缩端溶液。30 分钟后关闭泵,记录其收集的体积并计算催化膜过滤纯水时的纯水通量和膜本身之阻力。计算其纯水通量(J_{w1})。

$$J_{w1}=\frac{Q}{A\cdot\Delta T} \quad (1)$$

其中:J_{w1} 为膜纯水通量(L/m² h);Q 为渗透体积(L);A 为薄膜表面积(m²);ΔT 为进流溶液的时间(h)。

1.3.2 油水分离的过滤通量及去除效率测试

(1)将水槽中的去离子水换成事先配好的 10 mg/L 的乳化油水溶液工作并进行原水的水质分析。

(2)连接过滤装置,按照纯水通量测试步骤将催化膜置于平板过滤单元测试各组的过滤通量,每隔 10 分钟取样一次并记录其通过的体积,取样三次,将数据记录表中。取适量的过滤液,换算其去除效率。

乳化油水溶液的去除效率的计算公式为:

$$R=\frac{C_0-C}{C_0}\times 100\% \quad (2)$$

其中:R 为去除效率(%);C_0(mg/L)为初始油水工作液的浓度;C(mg/L)为透过膜后的渗透液的浓度。

经由所设计的操作压力和时间进行膜过滤油水工作液后,接着将膜进行反冲洗 10 min 后,再以相同条件下测其纯水通量(J_{w2})后续的通量恢复率(FRR)。

$$FRR=\frac{J_{w2}}{J_{w1}}\times 100\% \quad (3)$$

1.3.3 复合膜含水率测试

将膜样品从蒸馏水中取出,用滤纸拭干膜表面的水分并进行其湿重的测量(Ww),之后将膜置于 60℃的烘箱中进行干燥,于 24 h 后测其干重(Wd),即可按照下式计算出膜的含水率百分比:

$$EWC=\frac{W_w-W_d}{W_w}\times 100\% \quad (4)$$

式中:W_w—样品的湿重(g);W_d—样品的干重(g)。

1.4 表征分析测试仪器

接触角由动态接触角测定仪 (中国中西集团 JGW-360B 型) 测量,主要测量复合膜的亲疏水性能,用静滴法将水珠滴于膜上,每次约 0.6 μL,之后利用软件以自动分析法 (取二基点) 测量样品接触角数值。扫描电镜(SEM, TESCAN VEGA 3,捷克)主要为观察复合膜的表面形态, 预处理将 Au 溅镀在膜表面上以提升表面导电性,本仪器的加速电压为 5~30 kV,放大倍率为 25~200 000 倍。

2 实验结果与讨论

2.1 不同比例 PET/PEI 复合薄膜的操作性能测试

2.1.1 不同比例 PET/PEI 复合薄膜的纯水通量及对油水乳化液的去除效率

通过薄膜过滤系统研究不同组分比例薄膜的纯水通量和油水乳化液的去除效率, 并做了含水率测试、接触角测试及通量回复率等测试。根据相关数据,对不同组分比例的高分子混合膜进行分析,得出高效率、去除率优良的改性薄膜。其相数据整理于表 2 及图 4,结果显示:PEI 为结晶型态和带有支链阳离子的高分子,并由亲水性氨基(-NH_2)组成,混和膜中提高 PEI 的添加量,可以提升混合膜的纯水通量及降低膜本身的阻力[12],反之,随着薄膜中 PET 的占比由 0 增大到 15%,薄膜含水率从 44.43 %降低至 11.02 %,这是因为 PET 本身为疏水性材质并带有阴电性,会使混合膜具有较高的阻力,且具有较低的纯水通量。由图 4 可得, 纯水通量和油水乳化液过滤通量也呈现出上升趋势,纯水通量从 628.67 L/m² h 上升到 983.33 L/m² h,而油水乳化液的过滤通量从 525.47 L/m² h 提升至 741.67 L/m² h;但是由于 PET 材料的疏水性,油水乳化液的去除率在下降,M1- M4 由 92.34 %降至 89.01%,M5 和 M6 油水乳化液的去除效率急速下降, 均小于 80%, 混和膜 M3 和 M4 的纯水通量和油水乳化液的去除率都较佳,拥有良好的去除效率和速率,但考虑 M4 有较佳的通量回复率,选择 M4 为较佳混合膜。另外,由实验结果得知,当 PET 含量大于 15%以上时,无法成膜,因此后续无 M7 的数据。

表 2 不同比例薄膜的油水乳化液去除率及其他参数

Tab.2 Removal rate of oil-water emulsion and other parameters of different mixed membranes

编号	纯水通量 (L/m² h)	含水率 EWC(%)	接触角 (°)	油水过滤通量 (L/m² h)	油水乳化液的去除效率(%)	通量回复率 FRR(%)
M1	628.67	44.43	87.90	525.47	92.34	54.68
M2	723.33	37.72	86.84	425.67	89.79	63.36
M3	883.33	29.92	88.93	586.67	90.66	62.26
M4	993.33	14.00	88.53	416.67	89.01	57.94
M5	966.67	12.21	89.05	666.67	72.94	53.33
M6	983.33	11.02	89.07	741.67	68.80	58.53

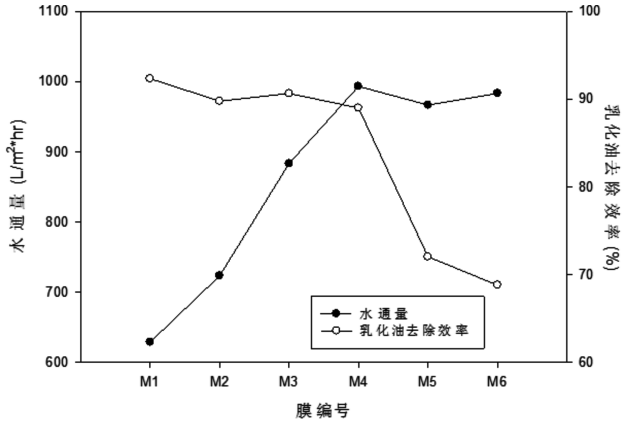


图 4 不同比例薄膜的纯水通量和油水乳化液去除率

Fig.4 Water flux and removal rate of oil-water by different mixed membranes

2.1.2 不同比例 PET/PEI 混合膜在油水乳化液的去除效率随时间的变化

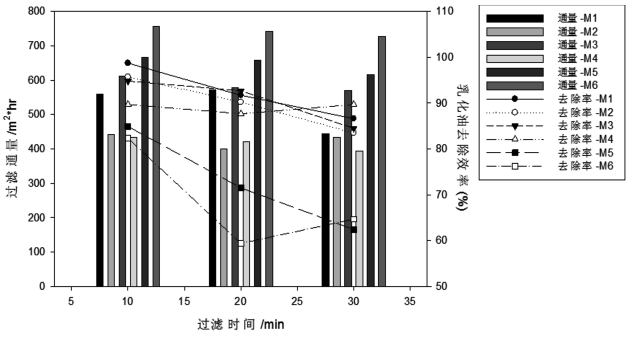


图 5 不同比例 PET/PEI 混合膜乳化油过滤通量及去除率与时间变化的关系

Fig.5 Removal flux and rate of oil-water by different PET/PEI mixed membranes with time

图 5 表示不同比例 PET/PEI 混合膜在油水乳化液再过滤时去除效率、通量与时间的关系。结果显示，随时间变化，纯 PEI 膜通量由 560.00 L/m² h 降至 444.45 L/m² h，乳化油去除效率由 98.72%降至 86.6%，通量下降 20%。而较佳的 M3 混合膜，膜通量由 610.67 L/m² h 降至 570.62 L/m² h，乳化油去除效率介于 94.78 至 84.51%间，通量下降 6.5%；M4 混合膜通量由 432.98 L/m² h 降至 394.01 L/m² h，乳化油去除效率介于 87.67 至 89.68%间，通量下降 8.9%。而之后提高 PET 含量至 10%及 15%，过滤通量分别介于 666.67 至 616.67 L/m² h 及 755.54 至 726.46 L/m² h 间，但乳化油去除效率则为 84%降到 62%。掺杂疏水性的回收 PET 后，M2~M4 膜可以有效地提高过滤通量及降低乳化油附着在膜表面的现象；当 PET 提高到 10%以上时，M5~M6 膜过滤通量明显提升，但是过滤效果明显下降。此外对油水乳化液的过滤通量和去除效率的分析中可知 M3 及 M4 效果最佳，对比这两组膜的通量回复率可知(见表 2)，M3 的通量回复率大于 M4，说明 M3 有更长的膜使用寿命。

2.2 不同比例之 PET/PEI 混和膜的特性分析

2.2.1 不同组分比例高分子混和膜的亲/疏水性

通过使用接触角仪分析 PET/PEI 混和膜的亲/疏水性，整理于图 6。该数据显示为混和膜的接触角测量值，在 M1-M6 中，随着 PET 含量的增加，混和膜的亲水性先增加后降低。因回收的 PET 瓶具有疏水性，会适当的改变薄膜的致密性、孔隙率和纯水通量，使薄膜更加致密。

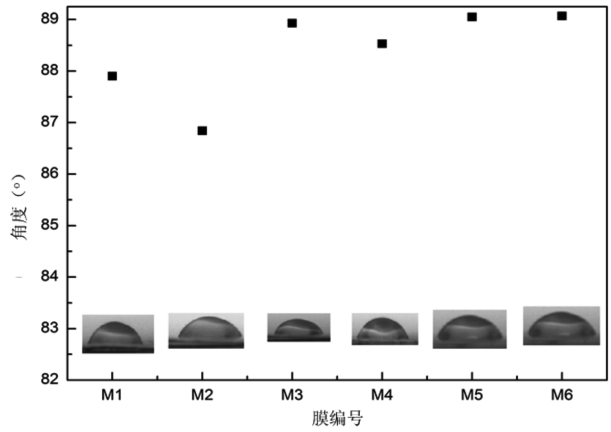


图 6 不同混和膜接触角测量值

Fig. 6 The contact angle of different mixed membrane

2.2.2 不同组分比例高分子混和膜的表面结构特征

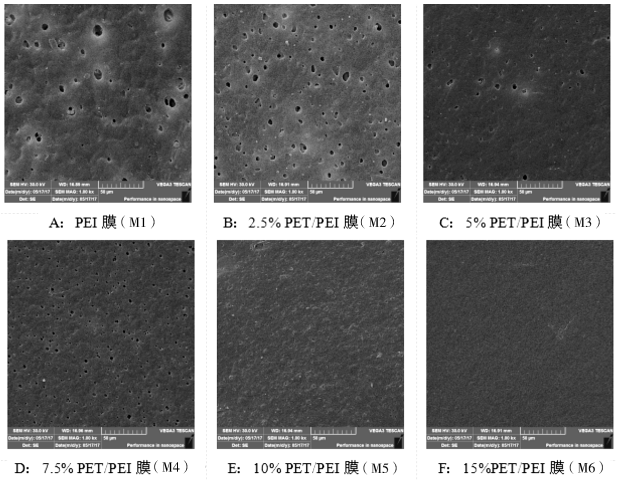


图 7 不同组分比例混和膜的表面形态(1K)

Fig.7 Surface morphology of different mixed membrane (1K)

图 7 为改性前后各膜的表面形貌。图 7A 为纯

PEI 膜, 图 7B 至 7F 为掺杂 2.5%~15%比例的 PET/PEI 混和膜。结果显示随着 PET 含量的增加,混和膜的表面各自呈现越来越致密的形态。通过 SEM 的观察,可以发现膜的表面孔径分布均匀,形态较平滑;随着 PET 含量的增加,平均膜孔径变小。

3 结果与讨论

探讨使用回收的 PET 瓶制成不同组分比例的高分子复合薄膜,并根据其表征、特性对油水乳化液去除效率的影响进行了分析。得到以下几点结论:

(1) PET/PEI 高分子混和膜中的 PET 含量不同会改变薄膜的孔隙率及孔径大小,平均孔径约从 2.26 μm (PET 0%)降至 0.05 μm(PET15%),但添加至 20%组份时无法成膜;

(2) 经操作性能测试,掺杂 5%PET 的混和膜为最佳膜比例, 油水乳化液过滤通量为 586.67 L/m^2 hr, 去除效率 90.66 %,通量回复率为 62.26 %;

(3) 经实验结果可以发现, 回收 PET 的添加在 PEI 膜具有改善膜孔径的效果, 或许可以提供回收 PET 的资源化技术处理方法。

参考文献:

[1] 王玉龙,马云霞,张淑娴,等.PET/ PPBBA 阻燃复合材料的动态流变性能 [J].塑料,2012,41(6):11-13.

[2] CHEN H ,LIU Z ,CEBE P. Chain confinement inelectrospun nanofibers of PET with carbon nanotubes [J]. Polymer, 2009, 50(3):872-880.

[3] 杨晓铭. 食品用塑料瓶(PET)标准探讨研究[J].中国包装, 2015,23(5):58-60.

[4] NIKBIN I M ,SAMAN R R ,ALLAHYARI H ,et al. Feasibility study of waste Poly Ethylene Terephthalate(PET) particles as aggregate replacement for acid erosionof sustainable structural normal and lightweight concrete [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 126:108-117.

[5] 昕玥. PET 塑料瓶[J].中华百科,2011,24(12):45-47.

[6] 涂定军. PET 降解及绿色改性的研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2017.

[7] GEYER R ,JAMBECK J R ,LAW K L. Production, use, and fate of all plastics evermade[J]. Sci Adv, 2017, 3(7): e1700782.

[8] ALI S S ,ELSAMAHYT ,AL-TOHAMY R ,et al. Plastic wastes biodegradation: mechanisms, challenges and future prospects[J]. Sci Total Environ, 2021, 780: 146590.

[9] OTHMAN A R ,HASAN H A ,Muhamad M H ,et al. Microbial degradation of microplastics by enzymatic processes: a review [J]. Environ Chem Lett, 2021, 19(4): 3057-3073.

[10] BARBOZA L G A ,VIEIRA L R ,BRANCO V ,et al. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy -related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, Dicentrarchus Labrax (Linnaeus, 1758)[J]. Aquatic Toxicol, 2018, 195: 49-57.

[11] BAALKHUYUR F M ,DOHAISH E J A B ,ELHALWAGY M E A ,et al. Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast [J]. Marine Pollut Bull, 2018, 131: 407-415.

[12] WARING R H ,HARRIS R M ,MITCHELL S C. Plastic contamination of the food Chain: a threat to human health [J]. Maturitas, 2018, 115: 64-68.

[13] ZHANG L ,XIE X ,ZHOU Y ,et al. Gestational exposure to titanium dioxide nanoparticles impairs the placentation through dysregulation of vascularization, proliferation and apoptosis in mice[J]. Int J Nanomed, 2018, 13: 777.

[14] 黄旋律. 膜分离技术在污水处理中的运用 [J]. 低碳世界. 2016(31):13-14.

[15] 王妮, 黄敏, 王振杰, 等. 仿棉聚酯纤维的结构与性能[J]. 国际纺织导报,2015, 43(9):4.

[16] 郭双祯, 王力, 史真真. 污水处理膜材料的亲水改性及其研究进展[J].膜科学与技术, 2015, 35(1):131-135.

[17] 蒋学彬.膜分离技术在石油工业含油污水处理中的运用进展[J].油气田环境保护. 2015(5):77-94.

[18] 刘多容,陈玉祥,王霞,等.微滤膜技术及应用研究[J]. 油气田环境保护. 2006(1):43-62.

[19] 姚海滨,姚利,刘亚云.废旧 PET 瓶的回收利用方法[J]. 上海包装. 2016(6): 43-45.

[20] 饶瑞晔,毛竹简,林靖靖,等.光催化膜对水中腐植酸的去除及积垢机理[J].化工进展,2018,37(9):3649-3656.

Application of Modified PEI Membrane by Recycled PET in Oil–Water Separation

MAO Zhujian, LIAO Xialu, LUO Yunhong, RAU Juiyeh*

(School of Ecology and Resources Engineering, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: The recycled polyethylene terephthalate (PET) bottles were used as additives, and a mixed membrane of recycled PET/polyetherimide (PEI) was prepared by a wet-phase inversion method. After, the membrane filtration characteristics, permeation flux, removal efficiency of oil/water emulsion were discussed. The results showed that the mixed membrane permeation and removal flux of oil/water emulsion were increased as the PET ratio from 0 to 15%, however removal efficiency of oil/water emulsion was reduced. In operation condition at 0.2 MPa, the 5%PET/PEI membranes were good membrane with water flux, filtration flux, removal efficiency of oil/water emulsion and backwash flux of 883.3、586.67 L/m^2 h、90.66% and 365.26 L/m^2 h, respectively.

Key words: recycled PET; PEI; membrane; Oil/water emulsion

(责任编辑:叶丽娜)

ZnO 纳米薄膜创新性实验设计

杨为家[1,2]，黎智杰[1]，关则毅[1]，杨杰森[1]，周智敏[1]，杨振湛[1]，申冬玲[1*]

（1.五邑大学 应用物理与材料学院，广东 江门 529020；2.江门市柔性电极材料及其应用工程技术研究中心，广东 江门 529020）

摘 要：围绕喷涂法和热蒸发法制备 ZnO 纳米薄膜设计综合性创新实验。采用有机试剂辅助喷涂法制备 ZnO 纳米薄膜，显著增加 ZnO 薄膜表面的纳米微结构和比表面积，从而提高其光催化降解性能；利用热蒸发法衬底可以旋转的特点制备了厚度相对均匀的 ZnO 纳米薄膜。运用 X 射线衍射、扫描电子显微镜、拉曼光谱、吸收光谱等技术对 ZnO 纳米薄膜进行综合表征。创新性实验涉及薄膜制备、材料分析表征、材料应用等多个知识点的综合运用。这种综合实验的模式与科技创新、科技课外活动、毕业论文等科研活动是基本一致的，能够有效培养学生的逻辑思维、创新思维与创新意识，锻炼学生的综合实践能力。

关键词：ZnO 纳米薄膜；综合实验；制备；喷涂法；热蒸发法

中图分类号：TB383.2;G647.38 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-2109(2023)09-0059-06

ZnO 是典型的第三代半导体材料，具有禁带宽度大、载流子迁移速率高等优点，被广泛应用于发光二极管、激光器、光电探测器、太阳能电池、催化降解等光电应用领域[1-4]。此外，ZnO 的源材料非常丰富，具有良好的生物兼容性、环境友好性、生物荧光成像、反应活性和成本低廉的特点[3,5]。因此，ZnO 材料一直深受研究人员的青睐。

在众多 ZnO 材料当中，ZnO 纳米薄膜具有突出的性能，是当前 ZnO 材料研究当中的一个重要内容。目前制备 ZnO 纳米薄膜的常用方法有磁控溅射[1]、分子束外延、脉冲激光沉积、金属有机物化学气相沉积[6]、水热法[7]、溶胶-凝胶法、热蒸发法、喷涂法等[8]。喷涂法具有设备简单、成本低廉、适用范围广、适合大规范生产等优点，是一种很有发展潜力的制备技术[9]。热蒸发法则具有容易获得纳米结构、成膜均匀性较好、成本相对较低的特点[10]，是目前常用的工业化生产设备之一。

近年来，本课题组采用喷涂法和热蒸发法等多种方法制备出多种 ZnO 纳米材料[11-16]：例如，利用喷涂法制备出 ZnO 微米/纳米线[11]、类松果状的 ZnO 纳米微球[12]、ZnO 纳米薄膜[13]，使用热蒸发法制备出了 ZnO 纳米带[14]、ZnO 纳米线薄膜。基于现有的研究成果，本文设计了有机试剂辅助喷涂法制备 ZnO 纳米薄膜和热蒸发法制备 ZnO 纳米薄膜，并采用 X 射线衍射、扫描电子显微镜、拉曼光谱等多种技术手段综合表征其性能的创新性实验。本创新性实验的目的是强化学生的逻辑思维、培养学生的创新思维以及综合实践能力，为技术创新型人才培养提供一种方式。

1 实验部分

1.1 主要试剂与设备

喷涂法：醋酸锌（$(CH_3COO)_2Zn$）、氯化锌（$ZnCl_2$）、聚

收稿日期：2022-09-18

基金项目：广东省 2022 年度教育科学规划课题（高等教育专项）（2022GXJK354）；2022 年广东省研究生教育创新计划项目(2022SFKC_081)；2022 年度五邑大学校级本科高质量课程建设与创新创业教育建设改革项目(KC2022081)；广东省普通高校创新团队项目（2021KCXTD042）；广东省教育厅教改项目（GDJX2019006）。

作者简介：杨为家（1980-），男，汉族，副教授，主要从事纳米材料、光电功能材料与器件研究。

通讯作者：申冬玲（1980-），女，汉族，讲师，主要从事光学材料、光学设计研究。

乙二醇(PEG,分子量 6 000)、乙二醇;热蒸发法:纳米 ZnO 粉末。设备为普通喷枪、电热板、退火炉、热蒸发镀膜机和光化学反应仪(OCRS-K)。

1.2 实验方法

喷涂法:以醋酸锌($(CH_3COO)_2Zn$)为前驱体,氯化锌($ZnCl_2$)、PEG(分子量 6 000)为掺杂剂,乙二醇作为溶剂进行制备。先将 3.234 g 醋酸锌和 20 mL 乙二醇混合并搅拌,然后将 0.960 6 g 氯化锌和 0.2 g 的 PEG 溶解于溶液。使用磁力搅拌器加热搅拌(搅拌速率 200 r/min)混合液一小时至液体混合均匀,倒入喷枪液体储存容器中待用。喷涂实验全程在通风橱中进行,将玻璃衬底用镊子固定在加热设备上,分别在衬底 200 ℃、225 ℃、250 ℃的状态下以同样的手法用喷枪进行喷涂,喷涂时间为 20 s。待实验完成后将所有样品放进退火炉中,以 10 ℃/min 的升温速率升温至 600 ℃并保温一小时,待自然冷却后取出样品,装样待以进行下一步的表征和测试。

热蒸发法:首先进行玻璃衬底的清洗,取 2 cm×2 cm 的玻璃片,分别用丙酮、无水乙醇、去离子水超声清洗 15 min,最后将去离子水倒干净,把洗好的玻璃放入温度为 80 ℃的烘箱中烘干 30 min,待用。称量 0.3 g 纳米 ZnO 粉末备用,取小型钨舟作为加热源,将钨舟进行打磨和酒精擦拭后倒上 ZnO 粉末,用小滴管滴 2-3 滴酒精在粉末表面防止粉末飞溅,完成后将钨舟放入热蒸发腔室中夹紧。将洗净烘干后的玻璃片固定在腔室上方的样品盘上后,关闭腔室,打开机械泵,当真空度达到 1×10^{-2} Pa 后通入2 mL/min Ar 和 2 mL/min O_2。待气压稳定后,按电流 1 A/s 的速度加热钨舟至钨舟 900 ℃,保温 0.5 h,结束保温后关闭气体阀和仪器,待冷却到室温后取出样品。将样品放进退火炉中,用 1 小时以升温至 600 ℃并保温 1 h,待自然冷却后取得 ZnO 薄膜样品并装样保存。

1.3 性能表征

实验制备出来的样品将采用 X 射线衍射仪(XRD,X'Pert Pro MFD)分析物相结构,使用扫描电子显微镜(SEM,ZEISS Sigma 500)分析表面形貌,运用微区拉曼光谱仪(LabRAM HR UV-NIR)进行光学性能分析;利用紫外-可见光分光光度计(岛津,UV-2550)测定 ZnO 纳米薄膜光降解前后亚甲基蓝溶液的浓度。

2 结果与讨论

2.1 物相分析

XRD 是确定晶体材料物相特性的强有力手段。它可以确定晶体材料的成分、晶体结构、结晶质量、残余应力等信息。图 1 是喷涂法和热蒸发法制备的薄膜样品的 XRD 图谱。ZnO P1 和 ZnO P2 是 200 ℃下喷涂制备的两个样品。ZnO R1 和 ZnO R2 是同一炉次热蒸发制备的样品。如图 1 所示,ZnO P1、ZnO P2 和 ZnO R1 出现了多个强烈的衍射峰。经过比对,这些峰刚好与密排六方结构 ZnO 的衍射峰吻合 (PDF 80-0074)。根据 XRD 的原理,晶体物质的衍射峰具有唯一性,即指纹指认特性。由此可知,采用喷涂法和热蒸发法制备出来的都是密排六方结构 ZnO。ZnO R2 样品没有出现 ZnO 衍射峰,可能是薄膜的样品比较薄或者结晶程度不高所导致的。理论上,ZnO R2 应当与 ZnO R1 样品是相同的,都是密排六方结构 ZnO。这个将在下面的测试中做进一步的证实。

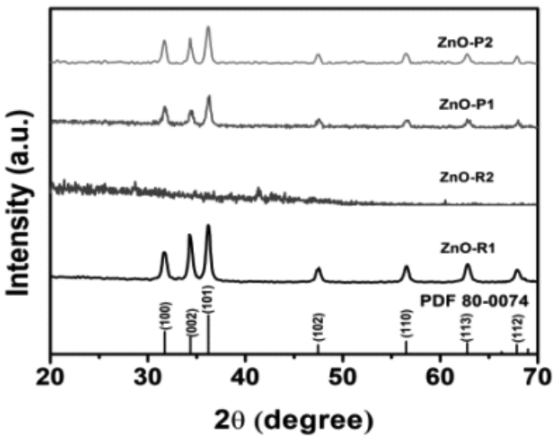


图 1 样品的 XRD 图谱

Fig.1 XRD patterns of the samples

2.2 表面形貌

样品的表面形貌,尤其是表面微观结构,对样品的性能有很大的影响。因此,有必要对样品的表面形貌进行分析和研究。图 2 给出喷涂法和热蒸发法制备的 ZnO 薄膜样品的 SEM 宏观形貌图。如图 2(a)-(c)所示,喷涂法所制备的 ZnO 薄膜样品均匀性相对较差,随着温度的提高,形貌发生显著的变化,由纳米颗粒变为纳米颗粒和纳米片,最后变为纳米微球。与喷涂

法相比，热蒸发法所制备的薄膜均有更好的均匀性，如图 2(d)所示。

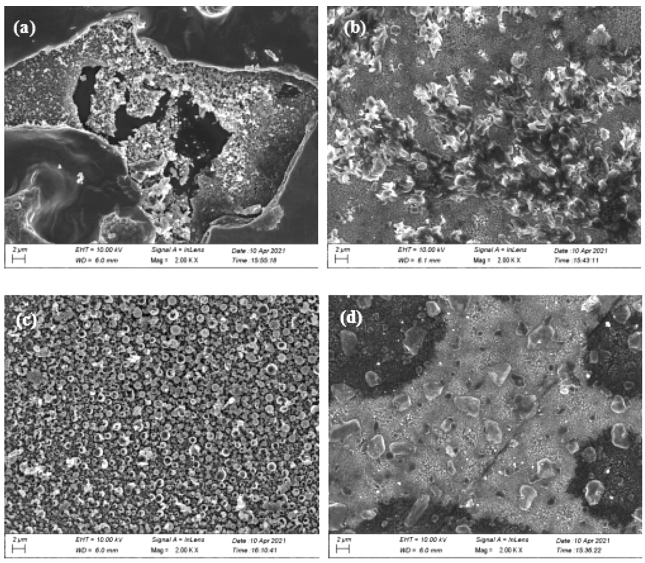


图 2 样品的宏观形貌图

(a) 200℃喷涂,(b)225℃喷涂,(c)250℃喷涂,(d)热蒸发

Fig.2 SEM images of macroscopic topography

前面已经提到,表面微观结构是决定薄膜性能的关键因素之一。特别是,当微观结构达到纳米尺度时,薄膜样品就会出现突出的纳米尺寸效应、量子效应、比表面积效应等。上述效应将会对样品的光电性能产生明显的影响。通常,这些效应将会大幅提高样品的光电性能。图 3 展示 225 ℃喷涂、250 ℃喷涂和热蒸发制备的 ZnO 薄膜样品的微观形貌。如图 3(a)所示,225 ℃喷涂法制备的 ZnO 薄膜是由纳米颗粒和纳米片组成的;纳米粒子的尺寸为 50~300 nm,而纳米片的直径为 0.7~2 μm,厚度约为 50 nm。当喷涂温度提高到 250 ℃时,ZnO 薄膜样品的微观形貌发生较大的改变:纳米片消失,出现大量的由纳米颗粒组成的空心微球,如图 3(b)所示。这些微球大部分是开口的,也有一部分是闭合的。由此可以推断,与 225 ℃喷涂法制备的 ZnO 薄膜相比,250 ℃喷涂法制备的 ZnO 薄膜具有更大的比较面积。如图 3(c)所示,与喷涂法有些类似,热蒸发法所制备的 ZnO 薄膜也是由纳米粒子构成的,其直径处于 100~400 nm 之间。综上所述,采用喷涂法和热蒸发法制备都是 ZnO 纳米薄膜。

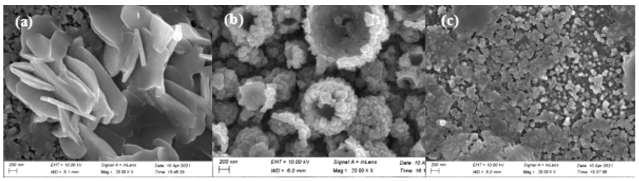


图 3 样品的微观形貌图:(a) 225℃喷涂,

(b)250℃喷涂,(c)热蒸发 01

Fig.3 SEM images of micromorphology:(a)225 ℃ sprayed,

(b)250 ℃ sprayed,(c)thermal evaporation 01

值得注意的是,喷涂法制备出 ZnO 空心纳米微球的结果,之前鲜有报道。在前面科研工作的研究中,ZnO 空心微球通常是采用水热法制备的[17]。此外,喷涂法制备的 ZnO 空心纳米微球,直径一般是小于 800 nm 的,如图 4 所示。相较而言,水热法制备的 ZnO 空心微球直径超过了 1 μm[17]。综合对比,喷涂法所制备的 ZnO 空心纳米微球具有数量多、速度快、成本更低的优点。

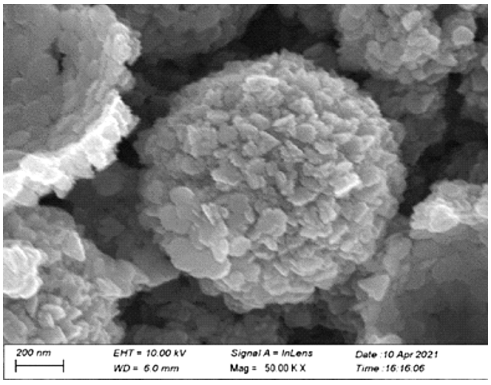


图 4 225℃喷涂法制备的纳米微球形貌图

Fig.4 SEM image of the nanospheres

2.3 拉曼光谱分析

拉曼光谱是一种非常典型的材料分析技术手段。它可以用于样品的定性分析、半定量、定量分析,也可以测定薄膜样品的残余应力。根据拉曼光谱的原理,六边纤锌矿在其布里渊区中心点的光学声子模为[18]:

$$F_{opt}=A_1^{TO,LO}+2B_1+E_1^{TO,LO}+2E_2 \quad (1)$$

式中:E_2 和 B_1 由各自的低频模式(低)和高频模式(高)组成,E_2 为具有拉曼活性的非极性模式,B_1 不具有拉曼活性,A_1 和 E_1 是极性模式，分为横向 (TO) 和纵向 (LO)光学模式,同时具有红外和拉曼活性[19]。综上,ZnO 的 A_1 振动模式位于 378、579 cm^{-1} 附近,E_1 振动模式出现在 407、590 cm^{-1} 附近,E_2 振动模式活跃在 99、437 cm^{-1} 附近,共计存在 6 个振动模式[18]。如图 5(a)所示,ZnO P1、ZnO P2、ZnO R1 和 ZnO R2 四个样品均在与文献

[18]相同的位置出现了典型的拉曼振动峰。由此可以再次说明,实验所制备的样品都是 ZnO。应当注意到,前面 XRD 未能证实的 ZnO R2 在拉曼光谱中得到了确认。图 5(b)是四个样品的 E_2^{High} 峰图。ZnO 薄膜样品的残余应力主要是通过 E_2^{High} 峰反应出来。无应力状态的 ZnO 的 E_2^{High} 峰位于 437.4 cm^{-1}。ZnO P1、ZnO P2、ZnO R1 和 ZnO R2 四个样品 E_2^{High} 峰全部都处于 437.4 cm^{-1} 附近。这一结果表明,喷涂法和热蒸发法制备的 ZnO 纳米薄膜都处于无应力状态。

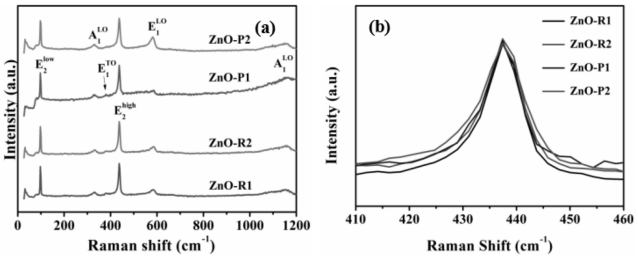


图 5　样品的拉曼光谱图:(a)全谱图,(b) E_2^{High} 峰

Fig.5　Raman spectrum:(a)full spectrum,(b)the peaks of E_2^{High}

2.4　光催化性能分析

图 6 展示不同时间下 ZnO 纳米薄膜样品对亚甲基蓝溶液的光催化降解图。从图 6 中可以观察到,喷涂法制备的 ZnO 纳米薄膜的催化降解效果均明显优于热蒸发法制备的 ZnO 纳米薄膜。但就喷涂法而言,在 200~250 ℃的范围以内,随着喷涂温度的升高,ZnO 纳米薄膜的催化降解效果越好。此外,随着催化降解的进行, 亚甲基蓝溶液的颜色由深蓝向浅蓝逐渐变浅。光催化降解 6 h 之后,热蒸发法制备的 ZnO 纳米薄膜的光催化降解亚甲基蓝的效率约为 20%,喷涂法制备的 ZnO 纳米薄膜的光催化降解亚甲基蓝的效率约为 32%~48%。显然,喷涂法制备的 ZnO 纳米薄膜比热蒸发法制备 ZnO 纳米薄膜具有更加显著的催化降解效果。这种现象可能是由两个方面的原因造成。一是热蒸发制备的 ZnO 纳米薄膜的厚度比较薄,整体的催化数量要少于喷涂法制备的 ZnO 纳米薄膜。二是与热蒸发制备的 ZnO 纳米薄膜相比,喷涂法制备的 ZnO 纳米薄膜其表面具有更大的比较面积和更多的纳米微结构(如图 3 所示),从而具有更好的吸附效率和光生载流子产率。类似的,随着喷涂温度的提高,ZnO 纳米薄膜在成膜时具有更快的收缩率,从而形成更多的纳米微结构和更大的比表面积,催化降解效率也随之提高。此外,225 和 250 ℃制备的 ZnO 纳米薄膜的催化降解效果很接近,这个可能是因为二者都具有非常多且数量接近的纳米微结构。

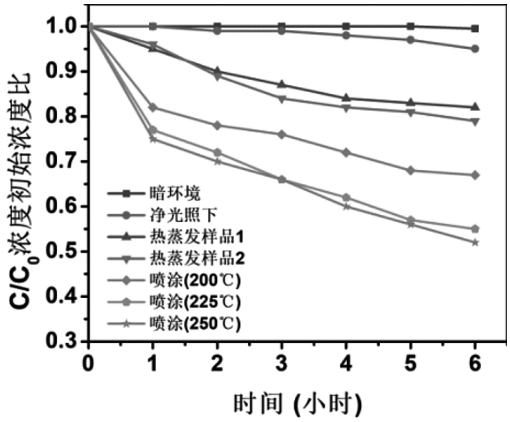


图 6　ZnO 纳米薄膜样品对亚甲基蓝溶液的光催化降解图

Fig.6　Photocatalytic degradation of ZnO nanofilm samples on methylene blue solution

3　实验教学设计及内容拓展

3.1　实验教学设计

针对电子信息工程(半导体绿色光源、光电工程)和材料科学与工程专业的光电综合实验所设计的。本实验将以小组的形式开展, 每个小组由 4~6 人组成,设小组长 1 人。实验分成选题、实验与测试、数据处理与分析、汇报四个阶段。在选题阶段,指导教师引导学生去查阅文献,并根据所学知识以及实验室现有条件设计创新性实验方案,待与指导教师讨论、修改完善之后,方可进入下一步的实验阶段。通过创新性实验方案设计可以有效训练学生的创新思维和创新意识。在实验之前,指导教师和实验室安全员应当对学生进行安全操作的培养与考核;只有通过安全操作考核的学生方可开展实验; 实验将由小组长进行合理分工,在规定的时间内完成样品的制备与测试,并按照规范做好各种实验数据的采集与记录。在实验过程中,遇到问题或者困难时,要求学生首先自行摸索或者查阅文献资料总结出 1~2 种恰当的解决方案,然后再与指导老师讨论解决方案的可行性。通过学生不断自行解决问题或者困难的方式,锻炼学生的综合实践能力和

创新能力。实验后,小组成员应对实验数据进行恰当的处理与分析,绘制成合理的图表,并按要求撰写成实验报告、专利或论文。最后,将实验内容与结果做成 PPT 进行汇报,并回答评委老师的提问。在整个实验中,积极融入课程思政,引导学生树立自力更生、勇于创新的精神、养成科学严谨的治学态度,同时锻炼学生分工合作的团队精神。

3.2 内容拓展

实验具有较高的弹性,可以根据毕业论文、大学生创新创业训练项目、实验/科技竞赛等不同的需求进行拓展:

(1)通过增加实验参数、测试手段、材料应用领域等方面,从而满足毕业论文的需求;

(2)通过更换材料体系和工艺优化、材料复合等手段,大幅度提高纳米薄膜材料的光电性能,从而契合创新创业训练项目的要求;

(3)通过调整工艺,实现由 ZnO 纳米薄膜向 ZnO 纳米微球、ZnO 微米线、ZnO 纳米线乃至 ZnO 纳米晶须的可控生长 (如图 7 所示), 将其制备出光电探测器、太阳能电池、气敏传感器等具有高应用价值和展示性的产品,从而符合实验/学科竞赛的要求。

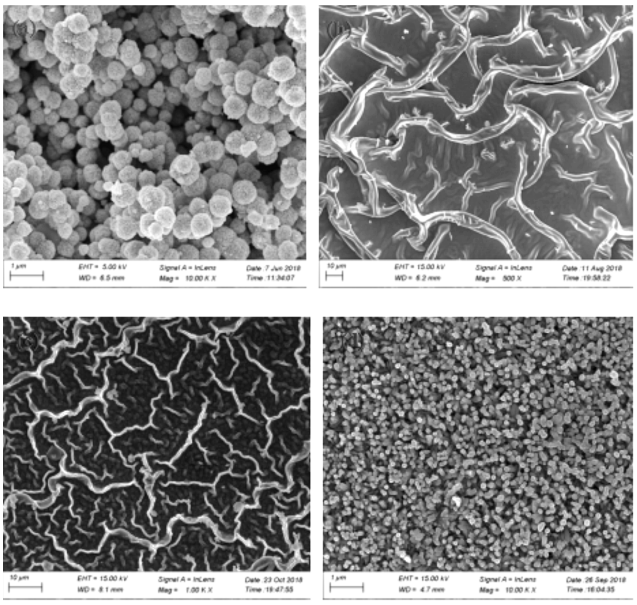


图 7 喷涂法制备 ZnO 纳米材料

(a)纳米微球,(b)微米线,(c)纳米线,(d)晶须

Fig.7 ZnO nanomaterials grown by spraying method

4 结语

学生根据教师提供或文献调研获得基本技术方案,运用所学知识进行改进和创新,设计创新性实验方案,并制备出 ZnO 纳米薄膜样品。这些样品在 SEM 中,观察到非常典型和清晰的纳米结构,且样品表现出明显的光催化降解亚甲基蓝溶液的能力。实验现象非常直观,特别是可以利用喷涂法实现多种形态 ZnO 纳米材料的可控生长,容易激发学生的获得感与成就感,从而增强学生对科学研究的兴趣。本实验包含了薄膜样品制备、纳米材料结构与形貌表征、光学性能测试、光催化降解、数据处理与分析、PPT 汇报答辩等综合内容, 可以帮助学生认识科研的基本思路和过程,拓宽学生对科研前沿和先进科技的视野,培养学生的团队合作精神和科学严谨的治学态度,全方面提高学生的综合实践能力和创新能力。

参考文献:

[1] YANG W, LIU J, GUAN Z, et al. Morphology, electrical and optical properties of magnetron sputtered porous ZnO thin films on Si(100) and Si(111) substrates[J]. Ceramics International 2020, 46: 6605–6611.

[2] 付钰斌,宁洪龙,邹文昕,等.氧化物靶材的制备及研究进展[J].材料研究与应用, 2022, 16(3): 362–368.

[3] 郭春芳.高岭土负载 ZrO_2/ZnO 纳米复合粉体制备及光催化应用[J].材料研究与应用, 2015, 9(3): 162–165.

[4] ZHENG M, GUI P, WANG X, et al. ZnO ultraviolet photodetectors with an extremely high detectivity and short response time. Applied Surface Science 2019, 481: 437–442.

[5] 刘哲, 李庆, 林华, 等. ZnO 纳米片的室温绿色法制备及光催化性能研究[J]. 功能材料, 2016, 47(S1): 217–222.

[6] XIE C, LU X T, TONG X W, et al. Recent progress in solar–blind deep–ultraviolet photodetectors based on inorganic ultrawide bandgap semiconductors [J]. Advanced Functional Materials 2019,29(9):1806006.

[7] 洋甜甜, 王永强, 刘芳, 等. 水热合成制备 MIL–101 及其改性应用现状[J]. 材料研究与应用, 2021, 15(4): 414–422.

[8] 田旭, 王新炜. 原子层沉积薄膜的表征方法进展[J]. 材料研究与应用, 2021,15(5): 454–463.

[9] 邓春明, 肖娟, 曹家旭, 等. 等离子喷涂-物理气相沉积稀土高温功能涂层研究进展[J].材料研究与应用,2019,13(3):247-251,256.

[10] ZHAO C, CHEN A, JI X, et al. Growth of vertically aligned ZnO nanowire arrays on ZnO single crystals. Materials Letters 2015, 154: 40-43.

[11] 杨为家, 陈柏桦, 刘志豪, 等. 一种基于新型 ZnO 纳米柱/SnO_2 薄膜探测器以及制备方法: 201811488035.9 [P]. 2018-12-06.

[12] 杨为家, 何鑫, 陈梅, 等. 一种类松果状的 ZnO 纳米微球的制备方法、及其应用: ZL201810673811.6 [P]. 2018-06-27.

[13] 杨为家, 刘俊杰, 刘铭全, 等. 一种褶皱状立体多孔 ZnO 薄膜及其制备方法: ZL201811072745.3 [P]. 2018-09-14.

[14] 杨为家, 刘俊杰, 刘铭全, 等. 一种 ZnO 纳米带及其制备方法 201910560639.8. [P]. 2019-06-26.

[15] 杨为家, 沈耿哲, 何鑫, 等. 一种基于 ZnO 纳米网格的紫外光电探测器及其制备方法:ZL201810840948.6 [P]. 中国专利.

[16] 杨为家, 何鑫, 刘俊杰, 等. 一种 ZnO 微米/纳米柱 LED 的制备方法: ZL201711425246.3 [P]. 2018-07-27.

[17] 项迪. 多孔氧化锌微纳米球的合成及性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2014.

[18] 刘武, 赵华成, 项春,等. 氧化锌的拉曼频移—应力定量关系研究[J]. 浙江水利水电学院学报, 2017,29(2): 65-67.

[19] 吴尝, 朱克荣, 马永青. 固相反应法制备 ZnO 纳米晶的变温拉曼光谱[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2011,34(7): 997-1000.

Innovative Experimental Design of ZnO Nano-films

YANG Weijia, LI Zhijie, GUAN Zeyi, YANG Jiesen, ZHOU Zhimin, YANG Zhenzhan, SHEN Dongling

(1. School of Applied Physics and Materials, Wuyi University, Jiangmen, Guangdong 529020;
2. Jiangmen Flexible Electrode Materials and Their Application Engineering and Technology Research Center, Wuyi University, Jiangmen, Guangdong 529020)

Abstract: The article designed a comprehensive experiment around the preparation of ZnO nano-films by spraying method and thermal evaporation method. The organic reagent-assisted spraying method was used to prepare ZnO nano-films, which significantly increases the nanostructure and comparison area on the surface of the ZnO film, thereby improving its photocatalytic degradation performance; the thermal evaporation method was employed to prepare a relatively uniform thickness of ZnO nano-films thanks to that the substrate could be rotated evenly. X-ray diffraction, scanning electron microscopy, Raman spectroscopy, absorption spectroscopy were used to comprehensively characterize ZnO nano-films. Innovative experiments involved the comprehensive application of multiple knowledge points such as thin film preparation, material analysis and characterization, and material application. This comprehensive experiment mode was basically consistent with scientific research activities such as scientific and technological innovation, scientific and technological extracurricular activities, graduation thesis, etc. It could effectively cultivate students´ logical thinking, innovative thinking and innovative consciousness, and exercise students´ comprehensive practical ability.

Key words: ZnO nano-film; comprehensive experiment; preparation; spraying method; thermal evaporation method

(责任编辑:马阿曼)

垃圾箱后骨架的焊接工装夹具设计

钟国坚[1]，赖桂光[2]

（1.闽西职业技术学院，福建 龙岩 364021；2. 福建龙马环卫装备股份有限公司，福建 龙岩 364000）

摘　要：针对原垃圾箱后车架焊接工艺复杂、易变形、焊接效率低、焊接质量差等问题，以某公司产品为例，基于 UG 三维设计软件完成了后车架的焊接夹具设计，并对后车架方管工件的弯曲焊接工艺进行了改进，包括焊接弯头夹具和多个 F 形焊接夹具。结果表明，设计的快速装配夹具可靠，不影响工件的定位，易于制造、安装和维护。该设计成果已在环卫公司投入生产应用，取得了良好的效果，对其在行业内的广泛应用也有一定的参考价值。

关键词：垃圾箱后骨架；焊接工装；设计

中图分类号：TH122　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0065-04

垃圾箱是人们日常生活中最常见的一种简单、高效、环保、无二次污染的垃圾收集运输环保设备，广泛应用于农村、城市街道、社区、学校等的连片治理中[1]。在日常生活中，各个垃圾收集点都会放置垃圾箱。垃圾装满后，由环卫垃圾车运至垃圾中转站倾倒压缩，防止污染环境[2-6]。垃圾桶不仅要求垃圾收集，还要求外形美观。一些大型垃圾桶的顶部设计成弧形，不易积水，美观大方，避免了以往方形的呆板造型[7-9]。由于大部分垃圾箱都是由整体钢板和加强筋焊接而成，电弧焊工艺复杂，焊接变形不易控制，不仅费时低效，而且焊接质量也无法保证[10]。因此，以某公司产品为例，基于 UG 三维设计软件设计了后车架的焊接夹具，并对后车架方管工件的弯曲焊接工艺进行改进，为进一步提高垃圾箱的质量提供一定的参考价值。

1　焊接工装的技术要求

焊接夹具不仅能保证产品的制造精度，还能提高生产率，创造更高的经济效益。为适应焊接机器人的发展，对焊接夹具提出以下技术要求：能缩短装夹时间，降低成本；能保证加工精度和质量；自动化程度高；可根据生产节奏进行调整；更换工件后，可以校准夹具；能适应相同或相似工件的夹持和不同加工对象的变换；该夹具结构简单，易于装配；可以利用原模具对夹具进行反求，提高夹具的夹紧精度[11]。

2　原有垃圾箱后骨架的焊接存在的问题

原 FTX03 箱体是目前市面上常见的型号，背面有一定的弧度，骨架为 30×40×2 的正方形如图 1。

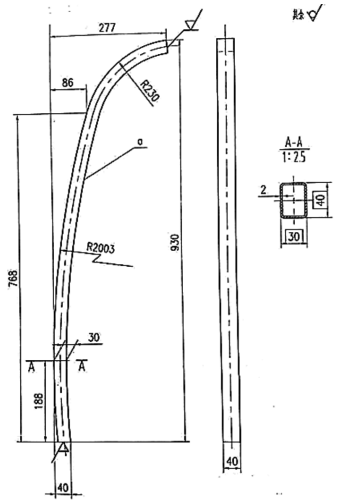


图 1　原 FTX03 箱体

Fig.1　Original FTX03 box

收稿日期：2022-09-13

基金项目：国家自然科学基金青年项目(11902135)；福建省中青年教师教育科研项目(JAT210910)；2022 年龙岩市产学研联合创新项目(2022LYF18005)。

作者简介：钟国坚(1982-)，男，汉族，副教授，主要从事机械教学与研究工作。

由于方管的壁厚较小,且这些零件已经被方管卷绕机卷过,形状难以控制,所以只能采用最原始的方法:加强构件侧面的横梁;同时用等离子切割机在大圆弧区域的内三面切割出相对均匀的切割缝隙 (如下图 2 所示);接着用锤子敲打弯曲,然后填补空隙,焊接成弧形结构。这种制造工艺需要先焊接一个部件,然后才能组装焊接整个后车架,不仅耗费大量人力,而且很难保证弧度和整体平整度[12]。

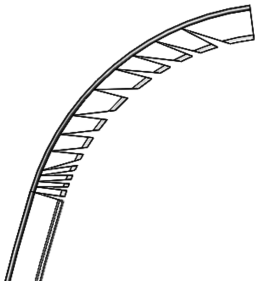


图 2 切割缝隙

Fig.2 Cutting gaps

原工序:第一步,侧面加强梁工件三面切割弯管缝;第二步,去毛刺和锐边;第三步,对侧加强梁进行锤击压形;第四步,填补焊接压形后的侧加强梁割缝;第五步,拼装焊接后骨架。

3 焊接工装设计

3.1 设计目的

旨在提供一种垃圾箱后骨架焊接工装夹具,以解决焊接工艺复杂、焊接变形难以控制、焊接时间长、效率低、焊接质量无法保证的问题。从而降低劳动强度,减少锤击对管件的损伤,保证了左右加强梁的弧度要求,保证了整体的平整度。

3.2 设计思路

涉及一种垃圾箱后骨架方管工件弯曲焊接工艺的改进技术, 包括弯头焊接夹具和多个 F 形焊接夹具。焊接弯头夹具为环形台阶结构,根据产品形状的弧度切割内外环形台阶面;在焊接弯头夹具的腿上设置两个底部限位板, 防止侧加强梁被夹紧和焊接变形;用 F 型焊钳将顶梁和侧加强梁夹在焊接弯头夹具顶部的夹具面上, 实现顶梁和侧加强梁的对接焊接,防止和减少焊接时的焊接变形。在保持原有方管制造工艺的前提下,对后续压制工艺进行了改进,设计制造了 F 型焊夹具,替代 FTX03 箱体背框焊接弯头夹具的锤击焊接工艺[13]。

新工序:第一步,侧加强梁工件三面切割弯管缝;第二步,去毛刺和锐边;第三步,直接压在工装上;第四步,焊接后骨架。

3.2 焊装夹具的设计方案

3.2.1 设计绘制焊装夹具三维图

为了给设计焊接夹具提供有利的条件,根据图一尺寸,基于 UG 软件完成相应的设计工作,UG 软件具有零件装配和零件造型设计的功能。利用 UG 软件,首先可以准确地反映出不同零部件之间的具体关系,从而满足 2D 图纸的具体要求。二是可以减少设计的缺失和相应的修改时间。焊接夹具是典型的非标准工件。但从整体情况来看,大量组件都非常相似。从而可以建立标准件库, 为相关操作人员快速查询各种内容,以及自己采用的标准结构和标准件提供了便利条件, 加快了设计进度。在建立焊接夹具的 3D 模型之前,先建立草图,然后利用草图平面进行建模,建立相应零件的毛坯。经过以上操作,我们就可以通过特征建模和布尔算法完成箱体后骨架焊接弯管工装三维图(如下图 3 所示)和箱体后骨架三维图(如下图 4 所示)。

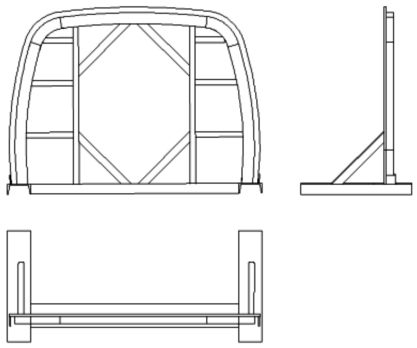


图 3 箱体后骨架焊接弯管工装三维示意图

Fig.3 3D schematic diagram

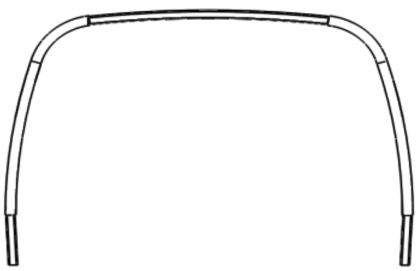


图 4 箱体后骨架三维示意图

Fig.4 3D schematic diagram of the rear frame of the box

装配部件采用自顶向下与自底向上相结合的设计方法。首先,构建一个装配部件,然后将主部件导入其中,然后从上到下逐一设计其他相关零件。对于标准件,由于三维模型的存在,可以合理地在焊接夹具中加入自顶向下的装配方法。总体装配设计完成后,生成三维箱体后骨架焊接弯管工装工作示意图(如下图 5 所示)。

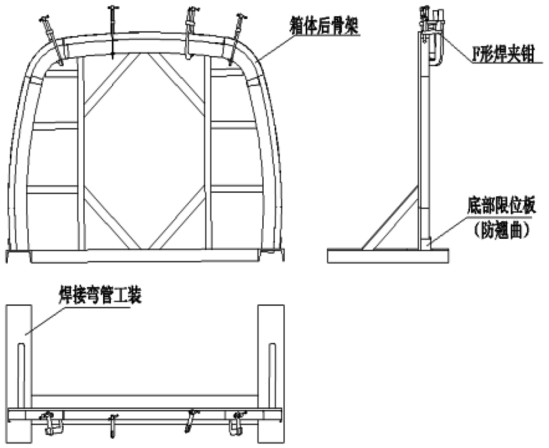


图 5 三维箱体后骨架焊接弯管工装工作示意图

Fig.5 Schematic diagram of operation

3.2.2 焊钳的科学选取

F 型焊夹具是一种外形为英文字母“F”的夹具,F 型焊夹具由特殊钢轧制锻造而成,具有足够的刚度和较大的强度。广泛应用于工程机械制造的大中型产品或非标设备的焊接、铆接和粘接。F 型焊夹具的横臂可以快速上下移动,夹紧工件只需要拧动三分之一的螺丝,达到快速夹紧工件的目的。因为焊钳和夹具之间有很强的约束,所以焊钳的选择和焊接夹具的设计要同时进行[14–18]。综合考虑垃圾箱的具体结构、夹具结构、焊接操作的方便性、焊接方向和位置。在选择焊钳类型时,可以避免不合理的问题,减少各种材料的消耗,最终选择能够满足具体工况的 F 型焊夹钳。

3.3 创新之处

这种设计主要用于薄板焊接。由于工件薄,热输入大,焊接时工件容易变形,容易产生焊接缺陷。为获得良好的焊接质量, 除了最佳的焊接工艺参数外,焊接夹具的设计对焊接质量起决定性的作用。设计的夹具夹紧可靠,不影响工件的定位;使用该夹具时,能保证焊接生产中有足够的焊接空间,不会影响正常的焊接施工;设计的快速装配夹具便于制造、操作和安装,易于维修和更换零件。总之,焊后产品整体外观美观,有效提高工件的装夹效率,缩短焊前准备时间。

4 结语

先进焊接技术的进步和发展极大地推动焊接技术在世界先进制造企业零部件生产中的应用。这也为焊接夹具的使用提供巨大的空间。我国焊接夹具行业及技术应用仍方兴未艾,具有良好的发展前景在替代原工艺后,缩短后骨架工序,消除了员工经常蹲下弯腰的劳动强度,消除了锤击造成的构件损伤,保证左右加强梁的弧度要求,有效抵消了背骨架在对焊时的焊接变形,保证了整体平整度要求[19–21]。该设计成果已在环卫公司投入生产应用,取得良好的效果,也为其在同行业的广泛应用奠定了基础。

参考文献:

[1] 李永爱,王伟.垃圾压缩车焊接工艺的设计与开发探究[J].城市建设理论研究,2012(18):1–6.

[2] 季五美.4–4.5t 系列叉车车架柔性生产线的设计与关键工位研究[D].杭州:浙江工业大学,2019.

[3] 宋彩艳,宁祎,韩莉莉.焊装夹具及其柔性化在工业制造中的应用综述[J].现代制造技术与装备,2017:109–111.

[4] 崔远良,黄步云,李少文,郭飚.基于薄板折弯件的焊接工装设计[J].机械工人(热加工),2012,(14):47–49.

[5] 李成. 基于特征驱动的可重构柔性工装智能交互设计系统研究[D]. 长沙:湖南大学,2020.

[6] 李清州.微卡焊装线工艺方案研究[D].济南:山东大学,2019.

[7] 段青辰,赵旭,韩振仙,等.液压支架连杆机器人焊接工作站自动定心机构设计[J].焊接,2019(8).

[8] 李娜,王国冰.先进焊接工装夹具在机械装备制造业中的应用[J].装备制造技术,2019(3):148–150.

[9] 刘建坤.重卡驾驶舱多车型柔性夹具设计与研究[D].长春:长春理工大学,2018.

[10] 徐国龙,王春雷,龚奕境,等.基于“互联网+”的汽车焊装夹具研究[J].河南科技,2018(17):121–123.

[11] 马玉广.汽车白车身焊装夹具柔性通用化 NC 单元的研制[J].建筑工程技术与设计,2018(23):4816.

[12] 赵长征. 不锈钢筒体内衬焊接工装夹具设计与分析[D].青岛:山东科技大学,2020.

[13] 赖桂光. 一种用于垃圾箱后骨架的焊接工装: 中国,

CN201710765043.2[P].2017-11-28.

[14] 孙京龙.汽车前大梁柔性焊接夹具的设计及研究[D].青岛:山东科技大学,2020.

[15] 刘海波. 发动机罩内板总成焊接夹具的开发与质量控制[D].镇江:江苏大学,2020.

[16] 刘明余.基于麦弗逊结构汽车转向节的试验台架开发及验证[D].秦皇岛:燕山大学,2019.

[17] 张忠东.白车身焊装夹具主线的设计与仿真研究[D].淄博:山东理工大学,2018.

[18] 刘建坤.重卡驾驶舱多车型柔性夹具设计与研究[D].长春:长春理工大学,2018.

[19] 黄龙振.高速经编机装配方案及工艺的研究与改进[D].南京:南京理工大学,2018.

[20] 孔超,宁祎,宋彩艳.机架前车桥焊接智能工装改进 PID 控制[J].电脑知识与技术,2018,14(21):269-270.

[21] 孙鹏尧,李欣疏,潘美霖.前纵梁补焊夹具的设计现状[J].河南科技.2018(31):48-50.

Design of a Welding Fixture for Trash Bin Rear Skeleton

ZHONG Guojian[1], LAI Guiguang [2]

(1.Minxi Vocational and Technical College, Longyan, Fujian 364021;

2. Fujian Longma Sanitation Equipment Co., LTD, Longyan, Fujian 364000)

Abstract: In view of the original dumpster rear frame welding process complex, easy deformation, low welding efficiency, poor welding quality and other problems, taking the products of a company as an example, based on UG three-dimensional design software to complete the rear frame welding fixture design, and the bending welding process of the rear frame of the square parts of the improvement, including welding elbow fixture and a number of F-shaped welding fixture. The results show that the designed fixture is reliable, which does not affect the positioning of the workpiece, and is easy to manufacture, install and maintain. The design result has been put into production and application in the environmental sanitation company, and has obtained good results. It also has certain reference value for its wide application in the industry.

Key words: trash bin back skeleton; welding fixture; design

(责任编辑:叶丽娜)

神经网络的土钉轴力最大值预测模型

卓维松[1]，阙云[2]，王荣[3*]，黄瑞[2]

（1.福建船政交通职业学院 土木工程学院，福建 福州 350007；2.福州大学 土木工程学院，福建 福州 350116；
3.武夷学院 土木工程与建筑学院，福建 武夷山 354300）

摘　要：为提高土钉最大轴力的预测精度，收集大量土钉轴力的实测数据，建立考虑土钉墙参数、土钉参数、土参数和超载情况等因素的土钉轴力神经网络预测模型，并对该模型的预测结果进行评估。结果表明：预测模型的土钉轴力最大值与实测的土钉轴最大值吻合程度高，离群点较少；神经网络梯度稳步降低，参数 *Mu* 随着迭代次数稳定变化，最大值也未超过 0.001，训练 *R* 值为 0.981，验证 *R* 值为 0.73，测试 *R* 值为 0.82，整体 *R* 值为 0.92；对比现有土钉轴力模型，预测模型的土钉轴力平均值更精确，模型因子变异性更小，且预测精度和土钉轴力最大值之间不存在相关性，因此适用性更广泛。

关键词：土钉墙；土钉轴力；神经网络；预测模型；变异性

中图分类号：TV551　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0069-06

土钉轴力是土钉抗拔和抗拉极限状态设计的关键参数之一，对土钉轴力精确预测不仅关系到工程造价，并且与基坑支护工程的安全问题息息相关。目前，世界各国都有相应的土钉轴力计算模型，如美国的 FHWA 法[1]，日本规程用的经验土压力[2]，中国的《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-2012)、《基坑土钉支护技术规程》(CECS 96:97)，简化增量法[3]和极限上限分析法[4]等。

目前已有学者对现有的土钉预测模型进行评估。例如，Yuan 等[5-6]对 FHWA、《建筑基坑支护技术规程》和《基坑土钉支护技术规程》所提出的土钉轴力模型分别进行了模型不确定性分析，研究表明其模型因子的平均值和变异系数分别为 0.95 和 0.382、0.62 和 0.62 及 0.974 和 0.730。由此可见，现有土钉轴力计算模型精确度仍有待提高。

神经网络方法由于具有高度的非线性映射能力，事先不需要假设输出变量与输入变量之间的关系，而是通过对大量数据组成的样本本身进行深入学习验证，就能找到输入数据和输出数据之间的某种线性或者非线性关系。杨小辉[7]基于 Elman 神经网络构建复合土钉墙安全预测模型，并用实测数据进行对比，证明 Elman 神经网络用于复合土钉墙的安全预测方面具有较好可行性。曹正[8]提出一种基于 BP 神经网络的基坑土钉支护结构优化设计方法，用于选择工程量最小的土钉支护方案。Hao 等[9]用监测数据建立土钉墙位移神经网络预测模型，并用正交试验分析，找出影响边坡位移影最大的敏感性因素。王兆鑫[10]采用 BP 算法与遗传算法相结合的方法应用于土钉墙土钉支护的变形预测，经过预测模型与实测位移数据对比，发现神经网络模型预测值与实测变形值最大误差为 8.82%，能满足工程问题的实际需求。Maedehl 等[11]利用多层神经网络对考虑土钉抗拔力、覆土荷载和灌浆压力影响的土钉墙中土钉结合体系的最大位移进行了评估。

收稿日期：2022-07-25

基金项目：福建省自然科学基金项目(2020J01403)。

作者简介：卓维松(1972-)，男，汉族，副教授，主要从事土木工程的教学与研究。

通讯作者：王荣(1980-)，女，汉族，高级工程师，主要从事土木工程的教学与研究。

由此可见,神经网络已被广泛地应用于土钉墙相关参数的预测中,且具有较高的模型预测精度。然而,以上研究多适用于单一土体或者单一土钉墙神经网络模型,因其数据有限导致模型适用性有限,并且其所建立模型所采用的数据量偏少,远不足以支撑一个具有实用价值的神经网络模型。

基于此开展文献调研,收集大量工作状态下土钉轴力最大值的实测数据, 建立一个考虑土钉墙参数(坑壁倾角、后倾角)、土钉参数(间距、直径、长度和角度)、土参数(黏聚力、摩擦角和重度)和超载情况等因素的土钉轴力神经网络预测模型,然后对该模型的预测结果进行评估, 以期提高土钉轴力的预测精度,为其理论计算和工程实践提供支持。

1 土钉墙轴力的 BP 神经网络模型

1.1 神经网络的基本理论

BP 神经网络 (back-propagation neural networks) 及反向传播神经网络,是采用误差逆传播算法进行误差校正的多层前馈网络。BP 神经网络的学习过程是正向传播过程和反向传播阶段,正向传播过程是基本信息输入输入层,然后由隐藏层加权处理就会得到输出值。反向传播阶段就是当输出值与样本值存在差异时,这是 BP 神经网络就会通过逐层修改权值和阈值,逐步减小输出值与样本值的误差,直至得到满足特定要求的结果为止。

BP 神经网络对于处理工程中各种非线性的映射能力非常出众,使其使用面很广,其具有非常强大的自学习和自组织能力,神经网络对建模的目标的经验知识不需要太高的要求。在实际应用中较为方便,将影响土钉轴力多因素数据作为输入,实际监测土钉轴力值作为输出,神经网络便会将输入数据和输出数据分成三类分别用于训练网络、验证网络、测试网络,是最终生成的神经网络模型满足精度要求,可以应用于土钉轴力预测的实际工程,其应用范围涉及非常广。

图 1 为 BP 神经网络的结构,左边为输入层 x,右边为输出层 y, 中间部分为隐藏层, 隐藏层层数不唯一,隐藏层里面包括神经元,神经元数也不唯一。

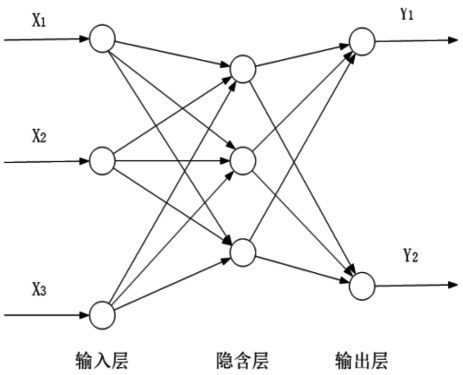


图 1 神经网络结构

Fig.1 Neural network structure

1.2 神经网络模型的实现流程

图 2 为神经网络使用的基本流程。通过编写 Matlab 神经网络语言, 使用结果回调用相应的工具箱,便于更加直观理解所训练验证测试神经网络模型的性能,图 3 为 Matlab 实现神经网络的流程。

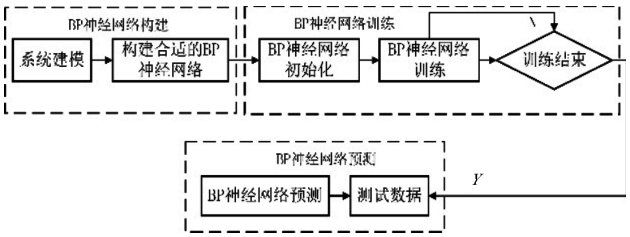


图 2 算法流程图

Fig.2 Algorithm flow chart

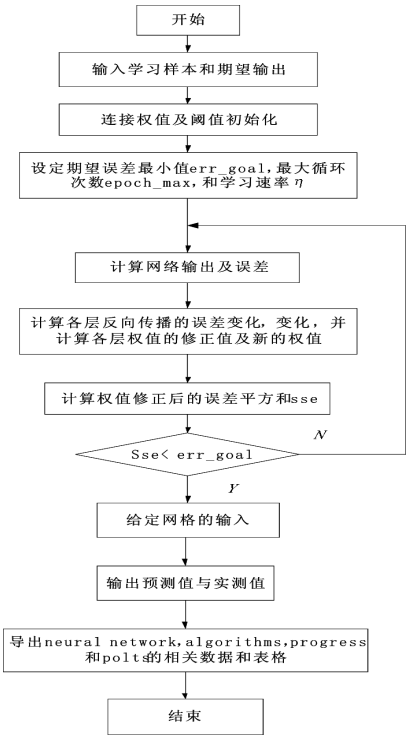


图 3 神经网络训练及仿真流程图

Fig.3 Neural network training and simulation flow chart

2 土钉轴力的 BP 神经网络结构设计

2.1 输入层与输出层设计

基坑土钉墙土钉轴力是多种因素共同作用的结果，收集大量工作状态下土钉轴力最大值的实测数据,建立详细土钉轴力数据库。考虑土钉墙参数(坑壁倾角、后倾角)、土钉参数(间距、直径、长度和角度)、土参数(黏聚力、摩擦角和重度)和超载情况等因素,该神经网络将这些因素作为输入层,用来进行数据分析,输出层是监测的土钉实测数据值。

2.2 神经网络模型的参数分析

2.2.1 层数和节点数

隐藏层的层数通常不唯一，计算方式也不固定,通常与设计人员的经验和习惯确定,设计隐藏层数目太少,学习能力下降,会导致计算不充分,精度较差,容错率变低。设计隐藏层数据太多,会导致计算过程过于漫长,学习时间太长,精度也不一定很高。经多次测算,本模型设置 1 个隐藏层,一共 2 层激活层,其中第一层有 21 个神经元,第二层 10 个神经元。输入节点是 14 个,输出节点是 1 个,输入层和输出层不设置激活函数,输入层、输出层都呈现线性映射。

2.2.2 初始值范围的选定

采用土钉墙土钉轴力最大值作为训练样本,网络初始权值是随机生成，一般将初始值得范围选定在(-1,1),这样激活函数处于对最大变化率时调节各个神经元的权值。

2.2.3 网络的输入

如果输入层输入变量的数量级过于庞大也将不利于权值的调整,利用归一化处理可以避免数值问题带来的计算麻烦，归一化后的数据将使网络快速收敛。多因素影响的模型,神经网络对样本数据的评价标准不一样,这时需要对其量纲化,做统一评价标准。数据不做归一化,在计算过程中,净输入绝对值可能会过大,导致神经元输出呈现饱和,较小的值将会被忽略,最终影响模型的预测精度,所以现在做神经网络时,都不可避免的将数据进行归一化处理。

2.2.4 学习速率

学习速率通常需要经过多次测算去选定为定值。在神经网络的使用中,一开始是比较难选到最合适的学习速率,通常会导致学习速率过大或者过小。如果设置的学习速率太大,神经网络在计算过程中可能会出现权值修正过头的现象，导致模型的预测进度较差。如果设置的学习速率太小,神经网络计算过程会很慢,耗费大量时间。神经网络循环训练产生权值变化量的大小是由学习速率决定，通过大量调节测算,认为选取学习速率为 0.01 较为合适。

2.2.5 终止训练设定

训练目标均方差低于 0.001。终止设定中设置如果训练效果不佳,连续十步变差,就会训练将会自动停止。

2.3 BP 网络的 MATLAB 设计

BP 神经网络里面一般有 newff( )、train( )、sim( ) 3 个函数，可分别用于创建、训练和预测。本文用 newff( )函数,该隐藏层设置 2 个激活层,第一个激活层设置 21 个节点，第二个激活层设置 10 个节点,这个两个激活层的激活函数都使用正切 S 型函数 tansig。因为 S 型函数 tansig 性能好,比较稳定,不容易梯度消失,计算性能好,对于输入值要求相对宽容。

设置优化方法选择 trainlm 函数,因为动量反转和动态自适应学习率的梯度下降 BP 算法训练函数 traingdx、levenberg_Marquardt 的 BP 算法训练函数 trainlm,这用优化函数是系统默认的最优于处理中等规模的神经网络的算法。训练样本都有很大的计算量,trainlm 能将这部分的计算量减少，避免复杂的矩阵运算,提高训练样本的计算速率。

3 土钉轴力预测方面的应用

3.1 土钉轴力数据

用于生成神经网络的土钉墙土钉轴力最大值数据样本容量来源于阙云等[12]在简化增量法计算土钉轴力模型准确性分析中的土钉轴力数据库。其收集了国内现有的 178 根土钉轴力数据,提出异常和最后一根土钉的轴力实测数据后土钉为 143 根。

3.2 数据模拟结果

经过多次训练和筛选,找到比较合适的神经网络模型,每次生成的模型都不一样,多次筛选必不可免。

这神经网络本身调节值得随机生成有关。通过 Matlab 编写神经网络代码,建立用于预测土钉轴力的神经网络模型,最终的得到神经网络预测值与实测值如下图 4 所示。由图 4 可知,该神经网络模型土钉轴力最大预测值与最大实测值吻合程度很高,离群点较少。

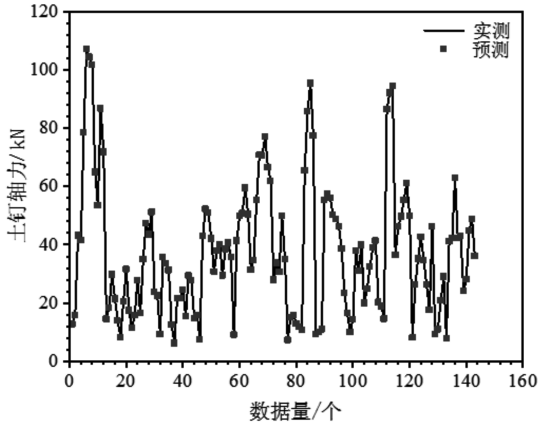


图 4 神经网络预测值与实测值

Fig.4 Neural network predicted value and measured value

通过 Performance 得到其迭代次数与均方误差的关系,如图 5 所示。由图可知,训练、验证和测试的 MSE 随着迭代次数的增加而减小,且 MSE 值较小,验证和测试的 MSE 值差不多。验证的 MSE 最小值发生在第 5 次迭代,而且在此之前没有过拟合现象,即没有训练 MSE 值递减但验证 MSE 值递增的现象出现。

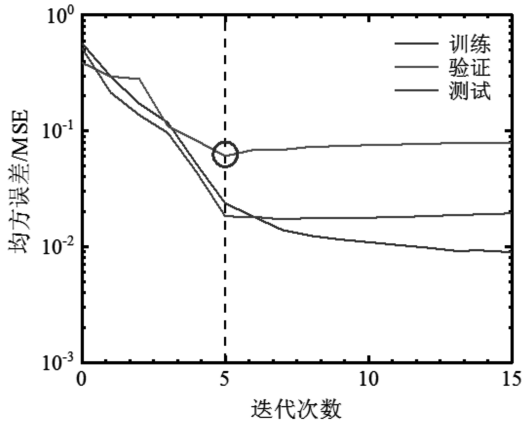


图 5 迭代次数与均方误差的关系

Fig.5 The relation between epochs and mean square error

通过 Training state 得到其验证数据的梯度、Mu、验证检查与迭代次数的关系如图 6 所示。由图可知,梯度随着迭代次数的增加而减小,Mu 是 LM 算法里面的一个参数,基本上随着迭代次数是稳定变化的,最大值也未超过 0.001。验证检查就是找到一个时点,而它之后 6 个时点对应的 MSE 都没有减小。在时点 5~15 上,验证的 MSE 单调增大,因此算法停止,最小的验证 MSE 发生在 5 次迭代上。

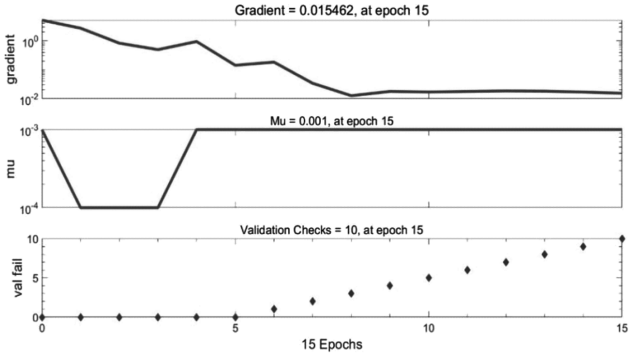


图 6 验证数据的梯度、Mu、验证检查与迭代次数的关系

Fig.6 The relationship between gradient, Mu, validation check of validation data and epochs

通过 Regression 得到其拟合回归图,如图 7 所示。由图可知,训练 R 值为 0.981,验证 R 值为 0.73,测试 R 值为 0.82,整体 R 值为 0.92。经过多次尝试,结果还是比较理想的,但是这样的结果并不完美,如果想要得到更好的拟合结果可以做如下尝试:多次切换影响结果的初始值;改变神经元数量继续尝试来获取更好的结果;通过增加数据来进一步来完善该神经网络模型;通过应用不同的函数来训练数据建模。

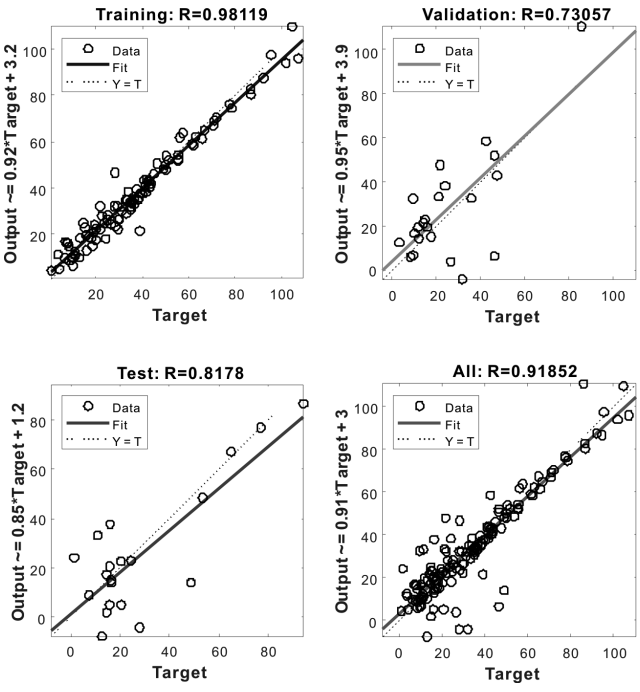


图 7 拟合回归图

Fig.7 Fit regression graph

4 神经网络预测土钉轴力模型评估

神经网络模型建成后,神经网络预测土钉轴力最大值提取出来和土钉轴力实测值进行分析对比。图 8 为神经网络预测土钉轴力最大值与土钉轴力实际监测值关系图。由图可知,预测最大钉轴力最大值均小于 100 kN,实测土钉轴力最大值和预测土钉轴力最大值与 1:1 对应线的偏差,图形不完全吻合,造成不吻合的原因可能有以下四个方面:可能与土壤类型、地形、环境;试验仪器本身的误差;人为造成的误差;模型本身的误差。

图 9 为土钉轴力最大值神经网络模型的模型因子 λ_B 与预测土钉轴力最大值关系图。由图可知,土钉轴力的 $\mu\lambda$ 和 COV_λ 分别 1 和 0.37。表明预测土钉轴力最大值的平均值比实测土钉轴力最大值的平均值一样。图中 λ 大于 2 的数据点有 2 个,但未发现将这些土钉轴力最大值识别为异常值的原因,剔除问题数据后土钉轴力最大值数据(n=143)的斯皮尔曼秩相关系数为 ρ=0.88(大于零)P 值<0.05。表明拒绝了 λ 和预测土钉轴力最大值相互独立的零假设。由于该方法的准确性取决于土钉轴力最大值的大小,即使从数据集中省略 2 个最高数据点,偏差依赖性的定量指标显示仍然相关。

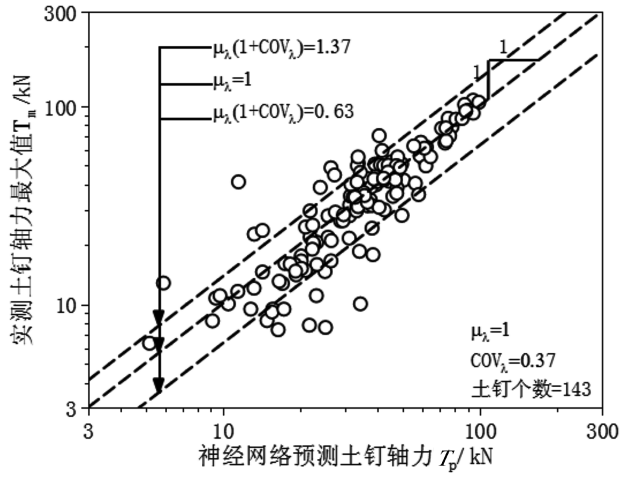


图 8 神经网络预测土钉轴力最大值与土钉轴力实际监测值

Fig.8 Neural network predicts the maximum value of soil nail axial force and the actual monitoring value of soil nail axial force

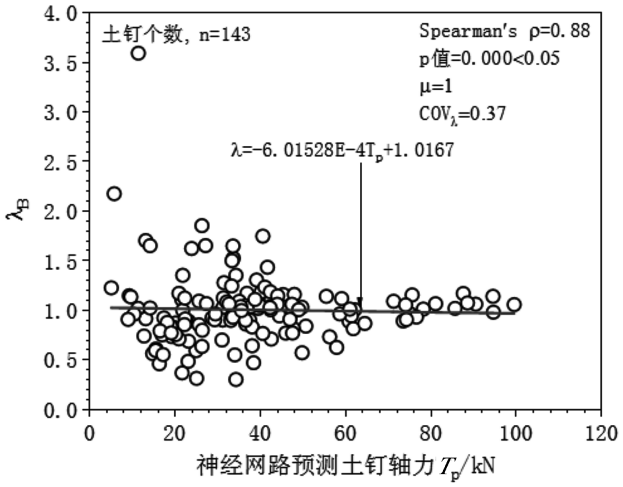


图 9 神经网络模型的模型因子与 λ_B 预测土钉轴力最大值关系

Fig.9 The relationship between the model factor of the neural network model and λ_B to predict the maximum axial force of soil nail

表 1 为不同土钉轴力模型相关参数对比表,由表可知,对比国内现有常应用于实际工程的土钉轴力模型,可知该神经网络土钉轴力预测模型中的土钉轴力平均值更加精确,模型因子的变异性更小。且该神经网络土钉轴力预测模型的预测精度和预测土钉轴力最大值之间不存在相关性,因而适用性更广泛。

表 1 不同土钉轴力模型相关参数对比

Tab.1 Comparison of parameters of different soil nailing axial force models

方法	$\mu\lambda$	COV_λ	Spearman's ρ	P
CABR	0.62	0.974	–0.51	0.000
CECS	0.62	0.730	–0.1	0.236
神经网络模型	1	0.36	0.888	0.000

备注:CABR 和 CECS 分别为《建筑基坑支护技术规程》和《基坑土钉支护技术规程》中的土钉轴力模型,Lin[5]已做过 CABR、CECS 中两个土钉轴力模型的不确定性分析,本文关于 CABR、CECS 土钉轴力模型的相关参数均来源于此处。

5 结论

收集大量工作状态下土钉轴力最大值的实测数据,建立一个考虑土钉墙参数、土钉参数、土参数和超载情况等因素的土钉轴力预测模型,然后通过 Matlab 神经网络代码和神经网络工具箱进行土钉轴力最大模拟。得出的主要结论如下:

(1) 该神经网络模型土钉轴力最大值预测的预测值与土钉轴最大值实测值吻合程度很高,离群点较少。

(2)该神经网络梯度稳步降低,其中 LM 算法里面的参数 Mu 基本上随着迭代次数稳定变化, 最大值也未超过 0.001, 训练 R 值为 0.981, 验证 R 值为 0.73,测试 R 值为 0.82,整体 R 值为 0.92。

(3)对比规范现有土钉轴力模型,该神经网络土钉轴力预测模型的土钉轴力平均值更精确,模型因子变异性更小,且预测精度和土钉轴力最大值之间不存在相关性,因此适用性更广泛。

参考文献:

[1] LAZARTE C A, ELIAS V, SABATINI P J, et al. Geotechnical engineering circular No. 7 –soil nail walls [R]. United States. Federal Highway Administration. Office of Technology Applications, 2003.

[2] 河上房义, 赵焕斌. 工程土力学计算题详题(基础篇)[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 1987.

[3] 杨光华, 黄宏伟. 基坑支护土钉力的简化增量计算法[J]. 岩土力学, 2004, 25(1):15–19.

[4] 阙云, 胡昌斌. 土钉支护边坡稳定的极限上限分析[J]. 福州大学学报, 2009, 37 (1):113–117.

[5] YUAN J, LIN P Y, HUANG R, et al. Statistical evaluation and calibration of two methods for predicting nail loads of soil nail walls in China[J]. Computers and Geotechnics, 2019(108), 269 – 279.

[6] YUAN J, LIN P Y. Reliability analysis of soil nail internal limit states using default FHWA load and resistance models[J]. Marine Georesources and Geotechnology, 2018: 1–18.

[7] 杨小辉. 基于 Elman 神经网络的复合土钉墙安全预测研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013.

[8] 曹正. 基于 BP 神经网络的基坑土钉支护结构优化设计[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014,10(5): 45–47.

[9] HAO J B, WANG B Q. Parameter sensitivity analysis on deformation of composite soil–nailed wall using artificial neural networks and orthogonal experiment[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014: 502362.

[10] 王兆鑫. 基于遗传算法的神经网络在深基坑变形预测中的应用[D]. 石家庄: 石家庄经济学院, 2015.

[11] Maedehl. New study on interactional effects of grouting pressure on the displacement of nailing bond[J]. Journal of Vibroengineering. 2018, 6(1):10–24.

[12] 阙云, 黄瑞, 林沛元, 等. 简化增量法计算土钉轴力的模型准确性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2021,40(1):158–174.

Prediction Model of Maximum Axial Force of Soil Nail Based on Neural Network

ZHUO Wei Song[1], QUE Yun[2], WANG Rong[3], HUANG Rui[2]

(1. School of Civil Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou, Fujian 350007;
2. School of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350116;
3. School of Civil Engineering and Architecture, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: In order to improve the prediction accuracy of maximum axial force of soil nail, a large number of measured data of soil nailing axial force were collected, and a neural network prediction model of soil nailing axial force was established considering soil nailing wall parameters, soil nailing parameters, soil parameters and overload condition, and the prediction results of the model were evaluated. The results show that the maximum value of soil nail axial force predicted by the model is in good agreement with the measured value, and there are few outliers. The gradient of neural network decreased steadily, the parameter Mu changed steadily with the number of epochs, and the maximum value did not exceed 0.001. The R value of train was 0.981, the R value of validation was 0.73, the R value of test was 0.82, and the overall R value was 0.92. Compared with existing soil nail axial force models, the average value of soil nail axial force of the prediction model is more accurate, and the variation of model factors is smaller. Moreover, there is no correlation between the prediction accuracy and the maximum value of soil nail axial force, so it is more widely applicable.

Key words: soil nailing wall; axial force of soil nail; neural network; prediction model; variability

(责任编辑:叶丽娜)

基于傅里叶变换红外光谱的家具木材无损检测方法

陈 燕

(福建林业职业技术学院，福建 南平 353000)

摘 要：由于实木家具较为昂贵，需要检测其性能保证家具的使用功效，为此提出基于傅里叶变换的红外光谱家具木材的无损检测方法。通过傅里叶变换红外光谱分析仪采集九种实木家具的横切面、径切面、弦切面原始光谱的红外光谱数据，使用多元散射校正处理、去趋势校正处理原始光谱数据，提取家具木材各种无损检测项目所需的对应红外光谱特征，建立红外光谱木材无损检测模型。检测结果表明，交趾黄檀罗汉床存在一处内部腐朽问题；卢氏黑黄檀如意台存在一处内部空洞问题；刺猬紫檀中式电视柜的含水量最低，微凹黄檀双人床的含水量最高；九种家具木材的密度均偏高，其中交趾黄檀罗汉床的密度最大，达到 0.76 kg/m^3。

关键词：傅里叶变换红外光谱；家具木材；多元散射校正处理；Hilbert 谱分析；无损检测

中图分类号：TH878 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-2109(2023)09-0075-06

木材一直是一种重要的家具材料，很受人们的青睐[1]。实木材质的家具通常价格比较昂贵，这加速了各种木材检测技术的发展速度[2]。其中木材无损检测技术能够实现非破坏性的和连续的木材检测，很适合应用于实木家具检测中。

通过木材无损检测，能够克服传统检测方法对木材造成的伤害，避免了木材的浪费，同时能够实现多方面的检测，使该技术在世界范围内得到迅速发展。随着森林资源被人类大规模开采，可供人类使用的林木数量逐渐变少，硬质、优质、珍贵林木的数量更是越来越少，促使家具木材无损检测成为一个热门话题[3]。目前已经有很多学者利用振动模态分析[4]、应力波检测[5]等技术对木材检测方法进行了研究，并已取得了突破性的研究成果。借鉴已取得的研究成果，考虑家具木材性能的特殊性，应用傅里叶变换红外光谱技术设计一种基于傅里叶变换红外光谱的家具木材无损检测方法。

收稿日期：2022-08-31

基金项目：南平市自然科学基金联合资助项目“白蜡树木材美学元素提升及应用”(2019J13)。

作者简介：陈燕(1985-)，女，汉族，硕士，讲师，主要从事木材科学与工程技术研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

采用檀香紫檀、刺猬紫檀、大果紫檀等 9 种制作实木家具的木材作为研究对象，木材特征如表 1 所示。

选择某实木家具制作厂商，分别使用九种试验树种制作实木家具，可以更清楚地检测木材制作成家具以后的特征，保证家具性能不受影响。制作的家具具体如下：檀香紫檀：八宝如意圆桌(A)；刺猬紫檀：中式电视柜(B)；大果紫檀：腰型茶台(C)；交趾黄檀：罗汉床(D)；巴里黄檀：中式沙发(E)；微凹黄檀：双人床(F)；奥氏黄檀：皇宫椅(G)；卢氏黑黄檀：如意台(H)；苏拉威西乌木：矮南官帽椅(I)。

1.2 试验设备与光谱数据采集

使用傅里叶变换红外光谱分析仪对 9 种实木家具支撑部分的原始红外光谱数据进行采集。使用的试

表 1　木材特征

Tab.1　Wood characteristics

序号	木材名称		木材特征	类别
	俗称	中文学名		
1	小叶紫檀	檀香紫檀	木性稳定、密度大、棕眼小	紫檀木类
2	非洲黄花梨	刺猬紫檀	纹理交错、常带深色条纹，心材颜色通常为桔红色、砖红色或紫红色	花梨木类
3	缅甸花梨	大果紫檀	纹理多且纹理较直，呈棕灰色、青色、棕红，颜色交错分布，纹理较粗，纵切面上有明显的带状长纹	
4	大红酸枝	交趾黄檀	心材新切面多为紫红褐色或暗红褐色，木材常带黑褐或栗褐条纹	红酸枝木类
5	花酸枝	巴里黄檀	划痕不明显，表面分布交错纹理，心材浸酒精后呈紫红色，光泽感较强，表面常呈现鸡翅木纹理或鱼鳞状纹理	
6	南美红酸枝	微凹黄檀	纹理纤细、密度高、坚硬、易处理	
7	白酸枝	奥氏黄檀	有一定光泽感，结构较细，常带黑色条纹，心材切面多为柠檬红、深红褐或红褐色	
8	大叶紫檀	卢氏黑黄檀	有一定光泽，呈现黑紫相间的纹理，材质比较细腻，耐久性强	黑酸枝木类
9	印尼黑檀	苏拉威西乌木	边材心材之间区别明显、耐腐蚀性强、硬度较高	条纹乌木类

验仪器型号为 FTIR-7 600，分辨率达到 4 cm^{-1}，光谱范围位于 4 000 cm^{-1}~400 cm^{-1} 之间。使用该仪器时，需要提前打开进行 1 h 左右的加热。扫描时需要将室温控制在 22 ℃左右，三次扫描每种实木家具，并取其权值作为试验数据，并导入 MATLAB 7.0 软件中，实施数据的预处理[6]。

采集的 9 种实木家具支撑部分的横切面原始光谱数据如图 1 所示。

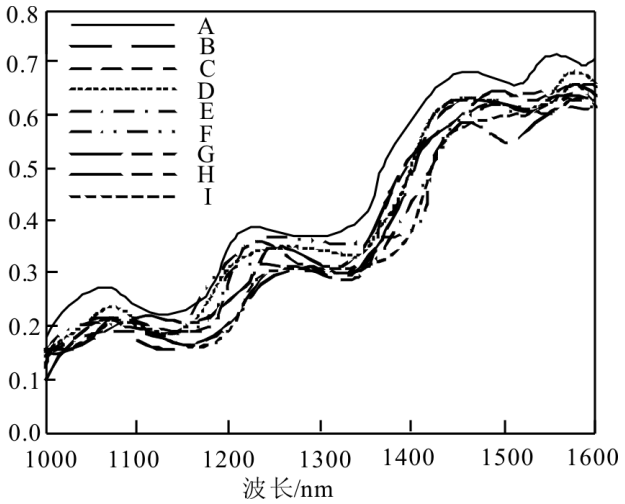


图 1　横切面原始光谱数据

Fig.1　Original spectral data of cross-sectional raw

采集的 9 种实木家具支撑部分的径切面原始光谱数据如图 2 所示[7]。

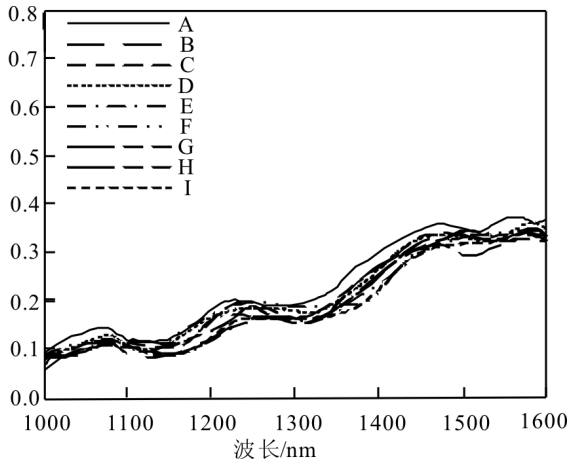


图 2　径切面原始光谱数据

Fig.2　Original spectral data of radial section

采集的 9 种实木家具支撑部分的弦切面原始光谱数据如图 3 所示。

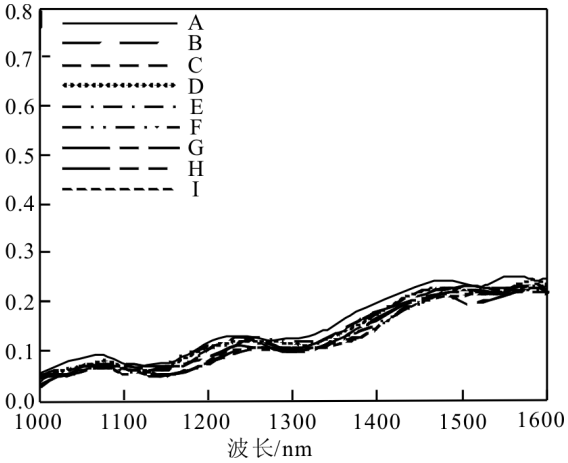


图 3　弦切面原始光谱数据

Fig.3　Original spectral data of tangential plane

基于图 1~图 3 采集的三种原始光谱数据,对其进行处理。

1.3　基于红外光谱特征处理数据

使用多元散射校正处理、去趋势校正处理 1.2 部分采集的光谱数据。

通过多元散射校正处理[8]能够消除由于样本分布不均匀、大小不同而带来的影响。具体计算步骤如下。

(1)计算样品平均红外光谱 $\overline{Q}_b$。

$$\overline{Q}_b=\frac{\sum_{a=1}^{m}Q_{a,b}}{m} \tag{1}$$

式中:$Q_{a,b}$ 表示 $a\times b$ 维的定标红外光谱矩阵,其中 a 表示定标的样品数目,b 表示红外光谱波长点数;m 表示检测样品的总数目[9]。

(2)计算样品的回归系数 Q_b。

$$Q_b=\nu_b\overline{Q}_b^{\mathrm{T}}+n_b^{\mathrm{T}} \tag{2}$$

式中:n_b 表示各样品的相对偏移量;ν_b 表示各样品的相对偏移系数[10]。

(3)计算多元散射校正后的样品红外光谱 $Q_{b(MSC)}$。

$$Q_{b(MSC)}=\frac{Q_b^{\mathrm{T}}-n_b^{\mathrm{T}}}{\nu_b} \tag{3}$$

通过去趋势校正处理能够消除基线移动问题,计算公式为

$$\begin{cases}C_i=a+a_1D_i+aD_i^2\\ C_i^*=C-C_i\end{cases} \tag{4}$$

式中:C_i 表示拟合的趋势线;C 表示原始红外光谱数据;C_i^* 表示校正后的红外光谱数据;a、a_1 表示拟合系数;D_i 表示原始红外光谱的吸光度[11]。

基于 Hilbert 谱分析提取家具木材各种无损检测项目所需的对应红外光谱特征[12]。对预处理后的各红外光谱数据实施 EEMD 分解,获取多个 IMF 信号与一个剩余分量,其中多个 IMF 信号使用式(5)表示。

$$\chi=\{\chi_1(w),\chi_2(w),\cdots,\chi_k(w)\} \tag{5}$$

式中:$\chi_k(w)$表示第 k 个 IMF 信号,$a(w)$表示 IMF 信号剩余分量。

寻找每项无损检测项目对应的 IMF 信号,将该 IMF 信号的能量作为该项目的提取特征。试验中的检测项目包括内部腐朽、内部空洞、含水量、密度[13]。因此,检测项目对应的 IMF 信号能量的集合表达式为

$$\beta=(\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_4) \tag{6}$$

式中:β_1~β_4分别表示内部腐朽、内部空洞、含水量、密度对应的 IMF 信号能量[14]。

完成红外光谱特征提取后,实施红外光谱木材无损检测建模。

1.4　红外光谱木材无损检测建模

基于小波神经网络对预测模型进行构建,实施家具木材无损检测。具体建模流程如下:

(1)将 Morlet 小波当做隐含层传递函数,构建小波神经网络预测模型[15]。构建的模型为

$$\begin{cases}d_{gh}=F\left(\sum_{d}^{M}\omega_{cd}\psi_{ed}\psi_{fd}\left(\sum_{l=1}^{G}u_{dl}p_{lh}\right)+q_g\right)\\ H=\frac{1}{2}\sum_{h=1}^{R}\sum_{g=1}^{T}(d_{gh}-o_{gh})^2\end{cases} \tag{7}$$

式中:F (·) 表示无损检测函数;M 表示第三层样本个数;d 表示第二层样本个数;G 表示第一层样本个数;ω_{cd} 表示小波神经网络第三层即输出层到第二层对应的权值;ψ_{ed}表示小波神经网络第二层即隐含层的伸缩因子;ψ_{fd}代表第二层的平移因子;u_{dl} 表示第二层到第一层的对应权值;p_{lh} 表示第 g 维中第 h 个输入样本的实际取值;q_g 表示偏置量;H 表示误差函数;R 代表第三层神经元个数;T 表示第一层、第二层神经元个数;d_{gh} 表示由第 h 个网络输出的小波神经网络的第 g 维取值;o_{gh} 代表第 g 维中第 h 个输出样本的实际取值[16]。

(2)参数初始化,具体包括网络学习速率、迭代次数等。

(3)输入提取的样本红外光谱特征,也就是各项目对应的 IMF 信号能量数据,对预测模型进行四种无损检测方向的训练。

(4)获取预测的各种检测结果,对检测结果的均方误差进行计算。当误差的绝对值比设定值小,输出各种无损检测的结果,完成家具木材无损检测。

2　试验结果与分析

2.1　不同木材的内部腐朽情况检测

九种家具木材内部腐朽情况检测结果如表 2 所示。

表 2　家具木材内部腐朽情况检测结果

Tab.2　Test results of furniture wood internal decay

家具序号	β_1IMF 信号能量最低值	内部腐朽处数量	腐朽处截面大小
A	26.35	0	–
B	28.63	0	–
C	25.51	0	–
D	12.36	1	60 cm–60 cm–5 cm
E	28.32	0	–
F	26.35	0	–
G	25.41	0	–
H	21.04	0	–
I	25.87	0	–

表 2 的检测结果表明在交趾黄檀罗汉床中存在一处内部腐朽问题,而其余八种家具木材内部则未出现内部腐朽问题。

交趾黄檀罗汉床中内部腐朽处的 β_1IMF 信号能量变化情况具体如图 4 所示。

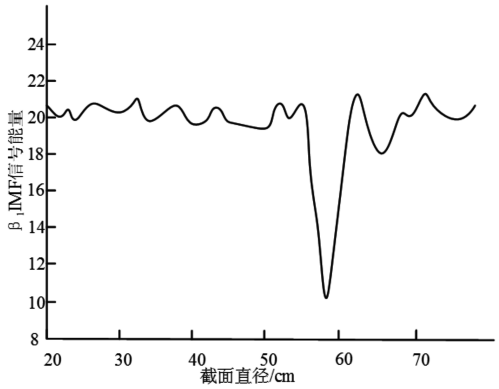


图 4　β_1IMF 信号能量变化情况

Fig.4　The change of β_1IMF signal energy

图 4 的 β_1IMF 信号能量变化情况表明,该处内部腐朽比较明显,存在明显的 IMF 信号能量变化。

为验证检测结果是否准确,将交趾黄檀罗汉床的支撑部分切开,剖面如图 5 所示。

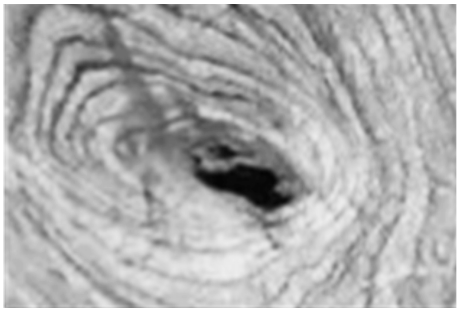


图 5　交趾黄檀罗汉床的支撑部分剖面图

Fig.5　Supporting section of cross-toe rosewood bed

根据图 5 剖面图可以明显看出该家具木材存在一处腐朽,与本文方法的检测结果一致。

2.2　不同树种的内部空洞情况检测

九种家具木材内部空洞情况检测结果如表 3 所示。

表 3　九种家具木材内部空洞情况检测结果

Tab.3　Internal cavity condition test results of nine kinds of furniture wood

家具序号	β_2IMF 信号能量最低值	内部空洞处数量	空洞处截面大小
A	35.63	0	–
B	35.69	0	–
C	34.52	0	–
D	38.51	0	–
E	39.52	0	–
F	32.74	0	
G	38.52	0	–
H	24.54	1	32 cm–25 cm–10 cm
I	35.41	0	–

表 3 的检测结果表明在卢氏黑黄檀如意台中存在一处内部空洞问题,而其余八种家具木材内部则未出现内部空洞问题。

卢氏黑黄檀如意台中内部空洞处的 β_2IMF 信号能量变化情况具体如图 6 所示。

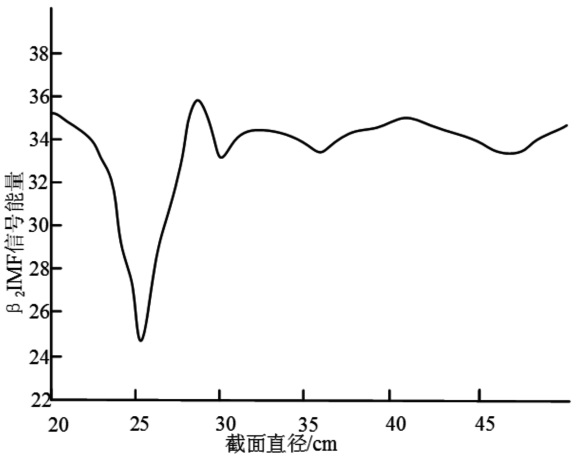


图 6　β_2IMF 信号能量变化情况

Fig.6　The change of β_2IMF signal energy

图 6 的 IMF 信号能量变化情况表明,该处 IMF 信号能量变化比较明显,存在一处内部空洞问题。

切开卢氏黑黄檀如意台的支撑部分，剖面如图 7 所示。

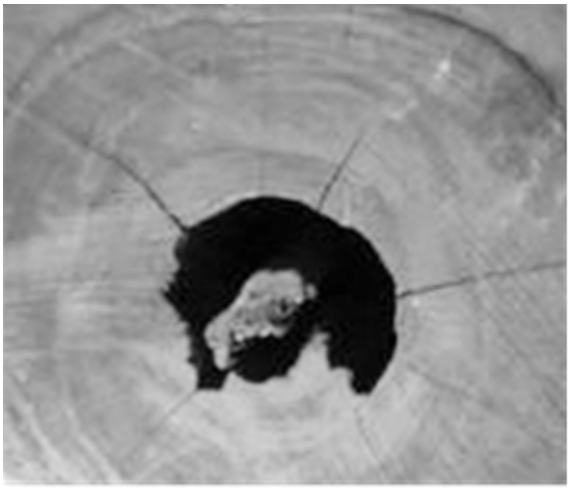


图 7　卢氏黑黄檀如意台的支撑部分剖面图

Fig.7　Supporting section of Lushi ebony Ruyi station

根据图 7 可见，卢氏黑黄檀如意台的支撑部分确实存在一处空洞,表明本文方法的检测结果较为准确。

2.3　含水量情况检测

九种家具木材的含水量情况检测结果如表 4 所示。

表 4　九种家具木材的含水量检测结果

Tab.4　Water content test results of nine kinds of furniture wood

家具序号	最高含水量(%)	最低含水量(%)	平均含水量(%)
A	15.63	11.36	12.36
B	12.20	8.63	10.63
C	16.30	13.41	15.30
D	15.20	11.36	13.96
E	14.96	11.20	12.85
F	16.54	14.30	15.98
G	12.52	10.36	11.41
H	14.57	12.65	13.20
I	13.21	10.30	11.58

表 4 的含水量检测结果表明,刺猬紫檀中式电视柜的含水量均值为 10.63,含水量最低,奥氏黄檀皇宫椅的含水量均值为 11.41,含水量也较低,苏拉威西乌木矮南官帽椅的含水量均值为 11.58,含水量也较低。微凹黄檀双人床的含水量均值为 15.98,含水量最高,大果紫檀腰型茶台的含水量均值为 15.30，含水量也较高。其余四种家具木材的含水量居中。

2.4　密度检测

九种家具木材的密度检测结果如图 8 所示。

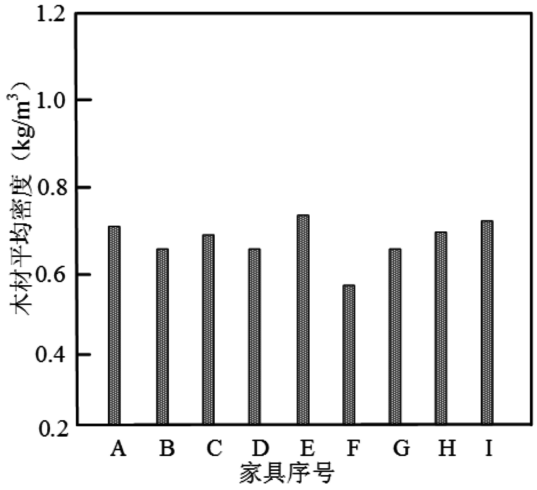


图 8　九种家具木材的平均密度检测结果

Fig.8　Average density test results of nine kinds of furniture wood

根据图 8 的平均密度检测数据，九种家具木材的密度都偏高,其中交趾黄檀罗汉床的密度最大,达到了 0.76 kg/m³,微凹黄檀双人床的密度最小,为 0.57 kg/m³,其余七种家具木材的密度居中。

3　结束语

通过应用傅里叶变换红外光谱分析仪采集实木家具的红外光谱数据,实现了便捷、高效的家具木材无损检测。检测了不同木材的内部腐朽情况,空洞情况和含水量情况,检测结果表明交趾黄檀罗汉床存在一处内部腐朽问题;卢氏黑黄檀如意台存在一处内部空洞问题;刺猬紫檀中式电视柜的含水量最低;微凹黄檀双人床的含水量最高;九种家具木材的密度均偏高,其中交趾黄檀罗汉床的密度最大。说明该方法可以从内部腐朽情况、含水量和密度等多个方面分析家具木材的内部特征，选取质量过关的木材制造家具,避免木材浪费,为实木家具的品质检验提供参考。但该方法易受噪声影响，导致检测结果存在少量误差,在实际应用中,可采取多次测量的方式。在今后的研究中，可以去除傅里叶变换红外光谱分析中的噪声,减小误差,实现更加精准的检测。

参考文献:

[1]　孙丽萍, 许述正, 魏喜雯, 等. 应力波木材无损检测技术应用及研究进展[J]. 世界林业研究, 2020, 33(6):39-43.

[2] 陈华锋, 陶静姝. 一种饱水木质文物含水率无损检测方法的研究[J]. 文物保护与考古科学, 2020, 32(3):58-64.
[3] 程丽婷, 戴俭, 彭乐鑫. 含水率对落叶松木材材性检测指标的影响[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(36):15050-15058.
[4] 别锋锋,杨罡,郭越. 基于振动模态试验的管道损伤识别方法[J]. 机械设计与研究,2021,37(1):190-194,199.
[5] 孙丽萍,许述正,魏喜雯,等. 应力波木材无损检测技术应用及研究进展[J]. 世界林业研究,2020,33(6):39-43.
[6] 王忠铖, 杨娜. 多测点无损检测法评估古建木材抗弯强度[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2022, 49(1):78-84.
[7] 陈勇平, 郭文静, 唐启恒. 基于雷达检测的木材内部孔洞面积测算与修正[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(6):1193-1199.
[8] 余梅,李尚科,杨菲,等. 基于近红外光谱技术与优化光谱预处理的陈皮产地鉴别研究[J]. 分析测试学报,2021,40(1):65-71.
[9] 邵明伟, 董军宇. 基于深度学习的木材优选锯视觉检测算法[J]. 林业科学, 2020, 56(12):123-129.
[10] 范佳楠, 刘英, 杨雨图,等. 机器视觉在木材缺陷检测领域应用研究进展[J]. 世界林业研究, 2020, 33(3):32-37.
[11] 萧嘉奕, 马艳, 周竹,等. 基于 FasterR-CNN 模型的木材表面节子缺陷检测[J]. 木材工业, 2020, 34(2):45-48.
[12] 刘剑珲, 徐超, 欧阳煜. 近代木结构柱-梁节点转动刚度及木材弹性模量的检测方法[J]. 上海大学学报:自然科学版, 2021, 27(6):1106-1117.
[13] 豆春峰, 李明, 朱代根. 基于声发射技术模拟蛀木害虫羽化孔洞缺陷检测[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(2):162-170.
[14] 王菊琳, 高婷艳, 吴玉清,等. 笼型倍半硅氧烷疏水性木材性能研究[J]. 林产工业, 2021, 58(11):16-20.
[15] 曹秀佳,谷健,马宁宁,等. 基于粒子群优化小波神经网络模型的春玉米生育阶段干旱预测 [J]. 灌溉排水学报, 2021,40(3):125-133.
[16] 豆春峰, 熊鑫, 李明,等. 基于声发射技术的木材害虫信号特征检测[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(4):120-124.

Nondestructive Testing Method of Furniture Wood Based on Fourier Transform Infrared Spectroscopy

CHEN Yan

(Fujian Forestry Vocational and Technical College, Nanping, Fujian 353000)

Abstract: Because solid wood furniture is more expensive, its performance needs to be tested to ensure the use efficiency of furniture. Therefore, a non-destructive testing method of furniture wood based on Fourier transform infrared spectroscopy is proposed. The infrared spectral data of the original spectra of the cross section, radial section and chord section of nine kinds of solid wood furniture are collected by the Fourier transform infrared spectrum analyzer. The original spectral data are processed by multivariate scattering correction and de trend correction. The corresponding infrared spectral characteristics required for various nondestructive testing items of furniture wood are extracted, and the infrared spectrum wood nondestructive testing model is established. The results showed that there was a problem of internal decay in the rosewood bed; There is an internal cavity problem in Ruyi Terrace of Lu´s ebony; The water content of hedgehog red sandalwood Chinese TV cabinet is the lowest, and that of slightly concave yellow sandalwood double bed is the highest; The density of nine kinds of furniture wood is on the high side, among which the density of Jiaozhi Dalbergia rosewood Arhat bed is the highest, reaching 0.76 kg/m^3.

Key words: Fourier transform infrared spectroscopy; furniture wood; multivariate scattering correction processing; Hilbert spectrum analysis; nondestructive testing

(责任编辑:马阿曼)

基于 RFID 的室内定位技术综述

黄凤英

（厦门大学嘉庚学院　信息科学与技术学院，福建　漳州　363105）

摘　要：随着物联网技术发展，人们对室内物品或人员位置的感知需求正在逐渐提高。目前基于 RFID 的定位技术在许多定位场景中得到应用，如仓库特定物品搜寻定位、物体或人员运动轨迹跟踪等。为推进基于 RFID 室内定位技术的研究，从 RFID 系统的通信机制出发，对不同信道特征参数信息的获取及标签定位处理方法进行了总结；接着对基于不同特征参数信息定位方法进行了分析对比。最后，展望了 RFID 室内定位技术的发展趋势。

关键词：射频识别；室内定位；特征参数；标签；定位算法

中图分类号：TP391.44　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0081-07

随着社会不断发展，室内定位在社会生产和生活中发挥着越来越重要的作用。在一些室内场所对物品或人员进行实时定位可保证其安全，同时也方便管理。基于射频识别(radio frequency identification，RFID)的室内定位由于电子标签成本低、易于部署、非接触等优点可为室内物品位置定位或跟踪提供有效的解决方案[1]。但考虑到实际应用环境的复杂性，仍然存在许多不确定性因素影响着定位精度，常用的 RFID 室内定位方法并不能满足要求[2]。因而对研究如何提高基于 RFID 室内定位系统的定位精度与实时性有着重要的意义。

1　无源 RFID 系统通讯模型

一个典型的无源超高频 RFID 系统由标签(tag)、阅读器(reader)、天线(antenna)以及后台系统四部分组成，如图 1 显示了 RFID 系统进行通信的示意图。后台系统通过无线/有线方式与阅读器连接，并根据不同应用给阅读器发送相应的指令。阅读器通过天线发射射频信号并被标签接收，由此标签获得能量，从而激活标签中的芯片，芯片再对接收到的信号进行处理，并将芯片中的信息通过标签天线返回给阅读器。阅读器通过天线接收到标签信号并反馈给后台系统。阅读器的整个控制软件和目标标签定位算法程序均可位于后台系统上。

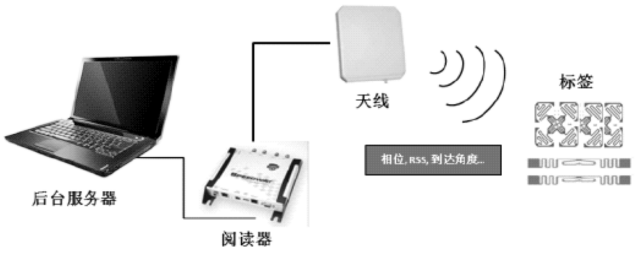


图 1　RFID 的通讯模型

Fig.1　Communication model of RFID

2　信号特征参数

根据 RFID 系统的通信模型，阅读器和标签之间

收稿日期：2023-02-22

基金项目：福建省教育厅科技项目(JAT191077)；国家自然科学基金项目(61871133)；厦门大学嘉庚学院预研项目(YY2022L01)。

作者简介：黄凤英(1989-)，女，汉族，硕士，副教授，主要从事物联网技术研究。

的通信方式是通过无线射频信号,因此能够为研究者提供接收信号强度 (received signal strength indicator, RSSI)[3]、到达相位(phase of arrival,POA)或者到达相位差 (phase difference of arrival,PDOA)[4]、到达时间(time of arrival,TOA)[5] 或者到达时间差(time difference of arrival,TDOA)[6]、到达角度 (angel of arrival,AOA)[7]等信号特征参数信息。研究者们利用这些特征信息与对应的距离位置建立相应关系,从而估算出待测标签的位置。

2.1 信号强度

根据电磁波理论,当标签的发射功率和天线增益一定时,阅读器接收的标签信号强度 RSSI 值越小,则标签与阅读器距离越远,反之越近[8]。基于接收的信号强度[9,10]的标签定位方法是目前最为普遍的,其测距定位方法以自由空间传播模型或路径损耗模型为原理,通过阅读器测量标签射频信号强度从而估算出待测标签的位置。

但在 RFID 实际应用中, 由于室内空间环境的噪声及多径路径干扰,影响接收信号的 RSSI 值,给基于 RSSI 的定位系统的精度带来巨大挑战,因此这种方法通常需要采用多次测量获取平均值或加入参考标签等方法来处理误差。

2.2 射频相位

相位是射频信号中的一个非常重要的特征参数,有些阅读器可支持获取该参数指标,如 Impin J R 420[11],其接收信号的相位值分辨率可达 0.001 5 弧度, 则可计算出的距离分辨率理论上为 0.038 mm[12]。因此,相对于 RSSI,相位对信号传播距离比较敏感。

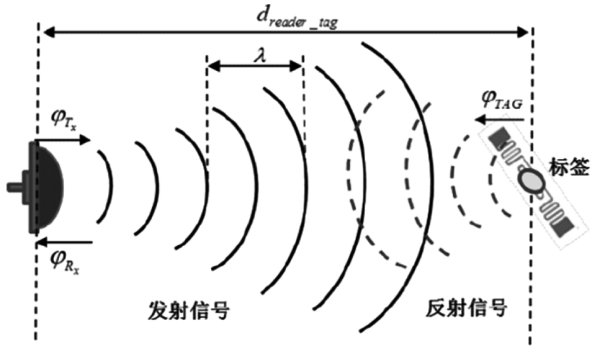


图 2 反射链路通信信道

Fig.2 Radio link comunication channel

图 2 显示了在无源 RFID 系统中阅读器与标签之间进行反射链路通信的过程。当阅读器天线发送某一频率 f 的载波信号后,将接收经标签反射回的信号,得出相位值与距离的关系如下:

$$\varphi=\omega t=2\pi f\frac{2d_{\text{reader_tag}}}{c}=\frac{4\pi d_{\text{reader_tag}}}{\lambda} \tag{1}$$

式中:λ 是载波波长,$d_{\text{reader_tag}}$ 为阅读器到标签的距离,c 为光速,t 为阅读器发射信号与接收到信号的时间差,φ 为接收信号和发射信号的相位差。再将公式(1)变为:

$$d_{\text{reader_tag}}=\frac{\varphi}{4\pi\lambda} \tag{2}$$

但实际情况下,相位值 φ 是一个周期函数,只有当相位值在单周期内时, 得到的测距结果才是正确的。因此,简单依靠公式(2)进行相位测距,其定位距离范围是有限的[13]。

2.3 信号到达时间

基于信号到达时间(TOA)的定位方法,其主要原理是根据不同阅读器接收到标签返回的信号时间差来估算两者之间的距离。然后再通过定位算法进行待测标签位置估算。Stelzer 等[14]在 TOA 方法基础上利用目标标签信号到达多个阅读器之间的相对时间差(TDOA)来计算它们之间的相对距离,用已知位置关系的阅读器计算出绝对距离。

但无论是基于 TOA 还是 TDOA 的定位方法,都要用到射频信号在传播过程中的时间差值,因此要求阅读器和标签之间的时钟能够同步, 且时间精度高。这在实际运用中都较难实现, 所以基于 TOA / TDOA 的 RFID 室内定位方法应用较少。

2.4 信号到达角度

基于信号到达角度(AOA)是利用信号到达角度的特征参数信息来定位标签位置。一般情况,利用带有较强方向性天线或者阵列天线的阅读器来接收标签返回信号的角度信息,以此类推,其他阅读器也测得的该标签返回信号的到达角度信息,并以它们信号的角度方向所产生的交点,来确定标签位置[7]。

但基于 AOA 的定位方法对天线设备要求比较

高,通常需要在阅读器上安装特定的阵列天线,才能达到较好的定位效果。

3 标签定位处理方法

通过以上分析可知,无论是采用哪一种特征参数信息进行定位,都存在一些不足。另外,若特征参数信息未经相关处理而直接进行标签距离定位, RFID 定位系统将很容易受室内环境因素干扰,造成定位结果的准确度与精确度的降低。在基于以上信道特征参数信息进行标签定位过程中,为了提高定位精度,提出不同的定位处理算法,如几何定位法,指纹定位法,全息图法[15]等。

几何定位法主要是通过所获得信号参数信息建立相对应的线性或非线性方程组,然后通过求解方程组的值,来计算待测标签位置。而对于求解建立的非线性方程组,大多采用最小二乘法、梯度法等[15]。

指纹定位法最早由 LANDMARC[3]被提出,该方法的思想一般分为两个阶段:一是建库,二是匹配。首先在环境中部署大量的已知位置的标签,通过阅读器分别获取它们的信号强度值, 并存入后台数据库中,然后将接收到待测标签的信号强度值一一和库中的强度值进行比对,最后选择信号强度值最接近的已知标签位置作为待测标签位置。基于指纹定位法,很多研究者采用, 如 K 邻近算法 (K-nearest neighborhood, KNN) [3,9,10,16]、神经网络算法[17-18]、最大期望估计[19]和贝叶斯概率算法[20]等进行处理。

全息图法最早是由 ROBEAT 等[21]提出的一种 SAR 的定位方法。全息图法的核心内容如下:首先将待搜索的二维平面或三维空间分割成为一个个位置像素点,并通过阅读器天线在不同位置上采集标签相位信息,每个天线测得的实际相位值与天线到每个像素点的理论相位到建立复指数函数,根据计算得到的复指数大小来估算待测标签的位置。下面以三维空间为例,将三维空间分为 $W\times L\times H$ 个方格位置像素点,如图 3 所示,并用 $Z_{w,l,h}$ 代表(w,l,h)出的像素中心点位置,设在 M 个时刻下阅读器的天线位置分别为$\{A_1\cdots A_m\cdots A_M\}, m\in M$, 相应测量的相位值为 $\{\theta_1\cdots\theta_m\cdots\theta_M\}, m\in M$,因此计算待测标签的位置可用以下公式计算:

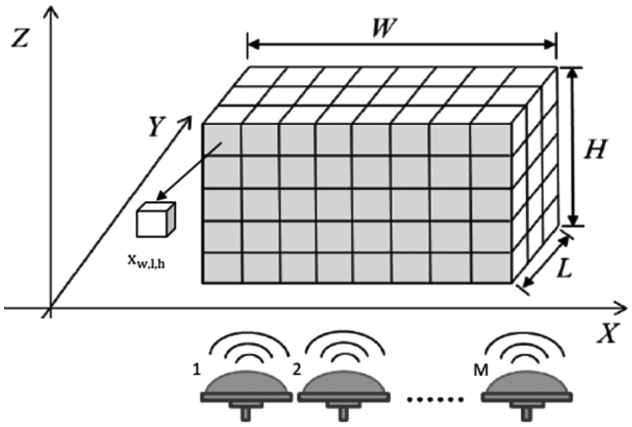


图 3 阅读器与全局坐标系示意图

$$H_{w,l,h}=\left|\sum_{m=1}^{M} e^{j(\vartheta(z_{w,l,h},A_m)-\theta_m)}\right| \tag{3}$$

式中:$\vartheta(z_{w,l,h},A_n)$ 表示第 m 个天线位置与像素点 $z_{w,l,h}$ 距离所对应得理论相位值。

$$\vartheta(z_{w,l,h},A_n)=(\frac{4\pi}{\lambda}d(z_{w,l,h},A_m))mod(2\pi) \tag{4}$$

式中:$d(z_{w,l,h},A_m)$ 表示第 m 个天线位置与像素点 $z_{w,l,h}$ 直线距离。$H_{w,l,h}$ 代表 M 个复指数信号的叠加,其值大小反映了(w,l,h)处的理论相位与测量相位之间的差异情况。如果对全空间的所有像素点进行公式(3)遍历计算,则有个位置会使得 $H_{w,l,h}$ 值最大,换句话说该位置处所有的理论相位值与测量相位值之间误差的总和最小,因此可认为该位置即为待测标签的实际位置。有研究者通过构造不同全息图来实现高精度的定位,如,YANG[12]提出差分增强全息图、SHANGGUAN[22]提出具有多载波频率数据的全息图、XU[23]提出联合全息图等。XU[23]设计一种鲁棒性更好的全息图,探讨了目标标签可能存在的所有位置的可能性,并提出将全息图与深度卷积神经网络算法相融合来抑制多路径效应。

一般情况下, 指纹估计法相比几何估计法在复杂的室内环境下能够获得较高的定位精度, 但由于离线阶段指纹库的建立时间花费较多, 指纹匹配算法的计

算量较大,因此,整体的定位实时性也较差。而全息图方法是通过遍历搜索空间的方式，相比指纹估计法其免去了指纹库的建立过程,定位实时性更能满足要求。

4 不同特征参数定位方法比较

下面将从不同特征参数对硬件需求、适用的定位处理方法以及优缺点等多方面进行简要分析总结,结果如表 1 所示。

(1)RSSI：基于接收信号强度的定位方法首先需要一个可获取 RSSI 值的阅读器,例如 IMPINJ 的 R 500 或 R 2000 等型号芯片所开发的阅读器。基于经典的 RSSI 指纹定位法 LANDMARC[3]系统定位平均误差为 1 120 mm。在行李轨迹追踪测试中,文献[12]将参考标签放在轨道附近，最后测得综合误差为 600 mm,而 SHANGGUAN[8]通过改变 RSSI 和阅读速率的方法决定行李顺序,并测得平均误差只为 150 mm。

表 1 不同信号特征参数的定位方法对比

Tab.1 Comparison of localization methods for different signal charateristig parameters

特征参数	硬件需求	定位处理方法	优 点	缺 点
RSSI	支持获取 RSSI 值的阅读器	几何定位法[24] 指纹定位法[25,26]	成本低、测量简单	易受到环境影响
POA/PDOA	支持获取相位值的阅读器	几何定位法[27] 指纹定位法[28] 全息图法[23,29,30]	无需部署参考标签,定位精度高	受多径路径影响，需要特殊设备获取相位
TOA/TDOA	阅读器与标签的时间同步，且精度越高	几何定位法[4,31]	适用于精度要求不高、信号传播较慢的定位	需要精确的时钟同步
AOA	阵列天线	几何估计法[32]	不占用带宽、无需时间同步	阵列天线要求较高

(2)POA/PDOA:基于相位参数的定位方法需要一个可获取相位值的阅读器，如 IMPINJ 的 R 420 型号芯片开发的阅读器。相比于接收信号强度,信号相位对距离变化更敏感,精度更高。WANG[28]使用通过天线运动创建的合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR) 来提取每个标签的多路径特征信息，并像基于 RSSI 的方法一样利用参考标签来定位待测标签,Wang 的平均误差距离为 120 mm。YANG[12]基于差分增强全息图的方法减小了环境噪声和标签多样性带来的额外相移影响,在线性轨迹追踪上,测得综合误差为 14 mm，在环形轨迹追踪上，测得综合误差为 7.28 mm,由此可知,在可控环境下,基于 DHA 的定位精度大大提高。邱兰馨等[33]提出一种 3DinSAR 定位算法,该算法基于多相位差可实现高精度、实时的三维标签定位,在实际环境测量下,平均误差为 240 mm,最小误差为 60 mm。

(3)TOA/TDOA:基于信号到达时间的定位方法要求阅读器与阅读器,阅读器与标签之间能有较高精度的时钟同步。主要因为信号传播速度为光速级别,如果时钟的精度不够,且不同步,那么时钟一点点的变差都将会对目标标签位置估算产生较大误差,从而使标签定位精度降低。

(4)AOA:由于大部分阅读器不支持测量角度功能,因此需要专门设置一种特殊的阵列天线,同时,室内环境对阵列天线尺寸安装的限制,让整个硬件系统设计难度变高。但有研究者[20,34]为此采用虚拟天线阵元来替代实际阵列天线,即用天线在移动过程中接收多个标签反射信号来模拟天线阵。文献 [32] 提出的

PATL 定位方法,利用加权算法估算标签的二维位置,经过实验测试,该方法的定位精度为 21 cm。

在基于 RFID 室内定位技术的具体实施过程中,应通过具体的应用场景,从实施成本、精确度、算法复杂度等方面选择合适的定位信号特征参数以及标签的定位处理方法。

5 总结与展望

通过对文献内容的分析, 对 RFID 室内定位技术总结出如下几个方向发展。第一,单一信号特征参数的测距定位模型具有较多的局限性, 为提高精度,可结合多种特征参数信息进行定位,即从单一特征参数转向多个特征参数发展。第二,在现有的定位处理方法上进行改进,将几何定位方法、指纹定位方法向全息图法或其他方法发展。第三,简化硬件组成系统,系统将从大量参考标签、多阅读器、多天线等向移动标签、移动阅读器、虚拟天线阵等低成本方向发展。再者,从实际应用来看,可从室内物品位置及追踪定位等转到增强现实及人机交互方向发展。

未来,随着 RFID 室内定位技术的不断发展,定位的准确性、精确度和实时性不断提高,基于 RFID 的室内定位技术将为人们生产和生活带来更大的变化。

参考文献:

[1] VENA A, ILLANES I, ALIDIERES, L,et al.RFID based Indoor Localization System to Analyze Visitor Behavior in a Museum [C]// IEEE International Conference on RFID Technology and Applications.Electr network:IEEE, 2021: 183-186.

[2] BERNARDINI F, BUFFI A, FONTANELLI D, et al.Robot-based indoor positioning of UHF -RFID tags: The SAR method with multiple trajectories[J]. IEEE transactions on instrumentation and measurement, 2021,70:1-15.

[3] NI L M, LIU Y, LAU Y C, et al. landmarc: Indoor location sensing using active RFID [J]. Wireless Networks, 2004, 10 (6): 701-710.

[4] HEKIMIAN W C . Accurate localization of rfid tags using phase difference [C]. Proc of IEEE Internation Conference on RFID.[M].IEEE Press, 2010:89-96.

[5] HE J, YU Y, WANG Q. RSS assisted TOA -based indoor geolocation [J]. International journal of wireless information networks, 2013, 20(2): 157-165.

[6] STELZER A, POURVOYEUR K, FISCHER A. Concept and application of LPM: A novel 3D local position measurement system [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004,52(12):2664-2669.

[7] TLILI F, HAMDI N, BELGHITH A.Accurate 3D localization scheme based on active RFID tags forindoor environment[C]. Proc of IEEE Internation Conference on RFID Technologies and Applications. [M].IEEE Press, 2012:378-382.

[8] SHANGGUAN L F, LI Z J, YANG Z, et al.OTrack: Order tracking for luggage in mobile RFID systems [J]. InIEEE International Conference on Computer Communications, Proceedings IEEE,2013:3066-3074.

[9] ZHAO Y, LIU Y, NI L M. VIRE: Active RFID -based localization using virtual reference elimination [C]// International Conference on Parallel Processing, Xi´an: IEEE, 2007: 56-64.

[10] HAN J S, ZHAO Y Y, YAN S C, et al. Improving accuracy for 3D RFID localization [J]. International Journal of Distributed Sensor Network[J]. 2012,2012(1):184-195.

[11] IMPINJ. Impinj xArray COTS RFID reader [EB/OL].[2021-01-20].https://rfid.atlasrfidstore.com/hubfs/Tech_Spec_Sheets / Impinj/ATLAS_Impinj_xArray_Gateway_RFID_Reader.pdf.

[12] YANG L, CHEN Y K, LI X Y, et al.Tagoram: real-time tracking of mobile RFID tags to high precision using COTS devices [C]//.Proc of the 20th Annual In International Conference on Mobile Computing & Networking.NewYork: ACM Press,2014:237-248.

[13] KIM S. NGUYEN C. On the development of a multifunction millimeter-wave sensor for displacement sensing and low-velocity measurement[J]. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions. 2004, 52(11): 2503-2512.

[14] STELZER A, POURVOYEUR K, FISCHER A. Concept and application of LPM: A novel 3D local position measurement system. IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques, 2004,52(12):2664-2669.

[15] 邱兰馨,黄樟钦,梁笑轩.RFID 标签位置感知技术综述[J].计算机应用研究, 2017, 34(12):3521-3526.

[16] HAN J, QIAN C, WANG X,et al. Twins: Device-free object tracking using passive tags [C]. Proc. of IEEE INFOCOM . [S.I.]:IEEE Press , 2014:469-476.

[17] MA H, WANG K. Fusion of RSS and phase shift using the Kalman filter for RFID tracking [J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 17(11): 3551-3558.

[18] WU X, DENG F, CHEN Z. RFID 3D -LANDMARC localization algorithm based on quantum particle swarm optimization[J]. Electronics, 2018, 7(2): 1-11.

[19] SIACHALOU S, BLETETSAS, SAHALOS J, et al. RSSI-based maximum likelihood localization of passive RFID tags using a mobile cart [C]//Proc of IEEE Wireless Power Transfer Conference. Aveiro: IEEE, 2016: 125-133.

[20] LIN Q, YANG L, SUN Y, et al. Beyond one-dollar mouse: a battery-free device for 3D human-computer interaction via RFID tags [C]//Proc of IEEE Annual Conference on Computer Communications and Networks. Hong Kong: IEEE Press, 2015: 1661-1669.

[21] ROBERT M, FABIAN K, MARTIN V. Holographic localization of passive UHF RFID transponders [C].InIEEE International Conference on Rfid. 2011:32-37.

[22] SHANGGUAN L, JAMIESON K. The design and implementation of a mobile RFID tag sorting robot [C]. In Proceeding of the ACM Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), 2016. ACM: 3-14.

[23] XU H T, WANG D, ZHAO R, et al. FaHo: Deep learning enhanced holographic localization for RFID tags [C]. Proceedings of the 17th Conference on Embedded Networked Sensor Systems, New York,2019: 351-363.

[24] HAN J S, DING H, QIAN C, et al. CBID. IEEE / ACM Transactions on Networking, 2016, 24(5):2885-2898.

[25] YANG L, QI Y, FANG J B, et al. Frogeye: Perception of the slightest tag motion [J].InIEEE International Conference on Computer Communications, 2014 Proceedings IEEE. 2014: 2670-2678.

[26] LIU T C, YANG L, LIN Q Z, et al. Anchor-free backscatter positioning for RFID tags with high accuracy [C].InIEEE International Conference on Computer Communications, 2014 Proceedings IEEE:379-387.

[27] LIU J, ZHU F, WANG Y Y, et al. RF-Scanner: Shelf scanning with robot-assisted RFID systems [C].InIEEE INFOCOM 2017 -IEEE Conference on Computer Communications.IEEE, 2017:1-9.

[28] WANG J, KATABI D. Dude, where's my card: RFID positioning that works with multipath and non-line of sight [J].InACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2013(43):51-62.

[29] YANG L, LIU Q, XU J, et al..An indoor RFID Location algorithm based on support vector regression and particle swarm optimization[C].2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Chicago, IL, USA, 2018:1-6.

[30] WING H H, HO L, YIN W F, et al.An active RFID indoor positioning system using analog phased array antennas[A]// Proceedings of IEEE Asia-Pacific Microwave Conference [C].Melbourne,VIC,USA,2011.179-182.

[31] 施竣严,秦小璐,王宁.基于梯度博奕的 RFID 室内定位算法[J].计算机科学,2015,42(11):138-143.

[32] 梁笑轩,黄樟钦,邱兰馨.一种基于二维相控阵天线的 RFID 定位方法[J].电子学报,2018, 46 (4):911-917.

[33] 邱兰馨,黄樟钦,李达.一种基于相位干涉的 RFID 标签三维位置感知方法[[J].计算机学报,2019,42(11):2512-2525.

[34] QIU L X, HUANG Z Q, WISTROM N,et al. 3Din SAR: object 3D localization for indoor RFID applications[C]. Proc of IEEE International Conference on RFID,IEEE Press, 2016:31-38.

Survey of Indoor Location Technologies for RFID

HUANG Fengying

(Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou, Fujian 363105)

Abstract: With the development of internet-of-things(IoT) technology, people´s demand for indoor objects or personnel location-aware is gradually increasing. At present, indoor location technology based on RFID applies in many valuable practical applications, such as searching and locating specific items in warehouse, tracking the movement of objects or people, and so on. In order to promote the follow-up research based on RFID indoor positioning technology, this paper introduced the communication mechanism of RFID system, summarized the acquisition of different channel characteristic parameter information and the key technologies of different label location processing methods. In addition, the positioning methods based on different characteristic parameter information are analyzed and compared. Finally, the development direction of RFID indoor location technology is figured out.

Key words: RFID; indoor location; characteristic parameter; tag; localization algorithm

(责任编辑:马阿曼)

房地产市场羊群行为分析

刘金娥，贺思语

(厦门理工学院　经济与管理学院，福建　厦门　361024)

摘　要：如何降低和化解房地产市场的风险，确保房地产市场平稳发展，受到了各界的关注。本文运用 CSAD 模型对我国房地产市场中投资者羊群行为的存在性及差异性进行检验，发现我国房地产市场参与者普遍存在着羊群行为，其中人均 GDP 值越高的城市，羊群行为越为严重。同时，本文基于消费者购房心理对我国高发展程度地区房地产市场普遍存在羊群效应这一现象作出解释。最后本文从市场信息透明度、政府政策调控力度、市场监管全面程度、教育资源配置合理程度、投资者投资理念五个角度对如何促进房地产市场的平稳健康发展提出建议。

关键词：羊群行为；房地产市场；CSAD 模型

中图分类号：F293.35　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0088-07

自改革开放以来，我国经济以持续增长态势发展，其中房地产行业贡献的力量不容小觑。中央经济工作会议作出“要确保房地产市场平稳发展”的一系列部署，房地产已然成为国家重要的经济支柱和社会问题。

历年来，各国学者都热衷于对房地产价格影响因素进行研究，众多学者通过不同角度对其进行探索解析。传统金融模型以理性人和有效市场假说为前提，但现实中市场中的个体不会是完全的理性人，故有学者引入行为金融学思路对房地产价格进行研究。羊群行为是行为金融学中研究的一种典型的投资行为。

到目前为止，前人对研究羊群行为的实证方法有以下几种：LSV 方法——用于检测每一期间末投资者对单支股票于同一方向交易与独立交易的偏离程度，无法考虑究竟是羊群行为导致了相关联交易，还是关联交易中市场参与者使用了相同的信息，且在市场不允许或限制卖空的情况下，使用 LSV 方法会导致测量误差[1]；PCM 方法——用于测度投资者在方向及力度上存在的羊群行为，该方法对于投资者占有投资权重的衡量存在偏差，资金量越大的基金管理人被赋予更大的比重，可能衡量到虚假羊群行为[2]；CH 方法（又称“CSSD 法”）——是基于收益率分散程度对羊群行为进行衡量的方法，在该方法的检测下，前提条件是实证选择的观测时间段市场价格要出现很大的波动幅度，当市场价格波动幅度不够大时，可能会不能有效测度出羊群行为[3]；CSAD 方法能够刻画出收益离散度和市场收益之间的非线性关系，相比 CSSD 模型更具有弹性，准确度要高[4]。

以 2015 年 6 月至 2020 年 6 月作为研究时间段，以不同发展程度的 26 个代表性城市房地产市场作为研究对象，选择运用的 CSAD 模型，该模型运用绝对差来衡量投资者决策的一致性，更加有利于测度出不同地区不同市场下的羊群效应差异，能够较为精准的引导市场参与者做出理性决策。本文首先对房地产投资者羊群效应的存在性进行建模分析，再通过对所选取城市进行分类，针对各类城市分析其羊群行为差异性，最后对所得结果进一步剖析，根据研究结果对市场参与者提出可行性建议。

1　房地产市场羊群行为理论分析

1.1　羊群行为概述

羊群行为是投资者在投资决策中放弃自己的私

收稿日期：2022-11-17

基金项目：国家社会科学基金项目（18CJY016）。

作者简介：刘金娥(1984-)，女，汉族，副教授，主要从事行为金融、资产定价研究。

人信息,依据其他参与者的行为来决定自己的投资决策[5],最终形成了决策一致的现象。高帆[6]指出羊群行为具有趋同性、不稳定性以及相对性,趋同是羊群行为的根本特征,同时羊群行为易受到外界各种因素影响,呈现出不稳定的特征,此外羊群行为不是绝对的,在不同标准、不同数据范围下,会得到不同结果。当众多投资者受到羊群效应影响,发生群体性失误时,有可能会出现大范围情况反转,导致反向羊群行为,会加剧市场多变性,从而扩大风险。现有文献主要用不完全信息理论[7]、声誉理论[8]和薪酬结构理论[9]来解释市场羊群行为的产生。

1.2 房地产市场中的羊群行为

房地产市场投资者分为企业投资与个人投资,本文主要讨论个人投资者的羊群行为。个人投资者以直接购房者为主,主要是居民买房并期待房价上涨。

房地产投资具有高收益高风险并存、流动性低、适应性强等特征。房地产还能够积极适应各种变化并调整自身功能,作为投资品,可以以租赁的方式获得资金收益,同时也具备房产本身的价值增长,在不同环境下,房产可以满足投资者不同需求,除本身的居住作用外,还可作为学区房,为投资者带来房产本身价值以外的收益。[6]

王丽艳[10]分析发现商品房住宅市场存在明显的羊群行为。鞠方等[4]也验证了羊群行为在我国房地产市场的存在性。周维[11]认为房地产市场羊群行为过度发展会引发房地产泡沫现象,信息处于劣势的投资者易受偏误信息影响产生不理性投资行为致使房价暴涨。温宇静和唐慧玲[12]认为,房地产市场价格非理性波动在很大程度上是由羊群行为引发的。

房地产市场中的需求可分为自住消费需求、购房投资需求、投机需求三种。这些需求都会催生羊群行为并带来风险。无论购房源于何种需求,只要投资者产生实际购房行为,其带来的影响都是一致的。针对购房行为,无论是刚需还是投机,一旦形成从众,必然会造成推高房价的局面。

利益诱惑是产生羊群行为的内因动力,投资者本能寻求收益率更高的领域,带动资本向高收益行业流入。房地产投资具有较高的收益水平,这是吸引投资者的内在动力,也是投资者产生羊群行为的诱因。在信息不对称的影响下,一些购房者在房价飞涨的浪潮中获得了可观的收益,引入更多的投资者向房地产市场进行投资,投资者纷纷涌入进行效仿,群体不断扩大,从而产生羊群行为。购房者相信房价会涨,必然热衷买房,甚至会囤积房产作为一种长期投资;开发商认为购房者基数庞大,便迎合市场开发更多房产,赚取高额利润。房价的不合理波动是由购房者与开发商共同推动的,要达到市场稳定的目的,需要因地施策,针对各区域羊群行为程度结合实际情况实施政策调控及其他方面的引导,以推动我国房地产市场健康发展。

2 研究方法设计

2.1 CSAD 模型概述

采取 CSAD 模型作为本文研究方法,在理性的资产定价模型下,使用横截面收益率绝对差 CSAD 指标来刻画收益离散度和市场收益之间非线性关系,检测羊群行为的存在。CSAD 具体公式如下:

$$\mathrm{CSAD}_t=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|R_{i,t}-R_{m,t}\right| \tag{1}$$

式中:N 为市场上资产组合的样本数,$R_{i,t}$ 代表资产 i 在时间 t 的收益率,$R_{m,t}$ 代表 t 时刻市场上资产组合的平均收益率。

结合资本资产定价模型(CAPM)可以得到:

$$E_t(\mathrm{CSAD}_t)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\beta_t-1\right|\left[E_t(R_m)-\gamma_j\right] \tag{2}$$

由(2)式分别求一阶导数和二阶导数后得到:

$$\frac{\partial E_t(\mathrm{CSAD}_t)}{\partial E_t(R_m)}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\beta_t-1\right|>0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial E_t(\mathrm{CSAD}_t)}{\partial E_t(R_m)^2}=0 \tag{4}$$

(3)式和(4)式求导的结果说明横截面绝对偏离度的期望值 $E_t(\mathrm{CSAD}_t)$ 和市场期望收益 $E_t(E_m)$ 之间为线性递增关系。如果存在羊群效应,单个资产收益率向市场收益率靠近,$E_t(\mathrm{CSAD}_t)$ 与 $E_t(E_m)$ 之间线性递增的关系将不存在,取而代之的是非线性的递减变化。当羊群行为严重时,该关系甚至变为绝对市场收益率的减函数。为检验羊群效应的存在性,引入其他回归参数,用下式表示这一非线性关系,由此可以建立测

度羊群效应的如下模型：

$$CSAD_t=\alpha+\gamma_1\left|R_{m,t}\right|+\gamma_2R_{m,t}^2+\varepsilon_t \quad (5)$$

横截面绝对值与市场收益之间是否存在非线性关系，等同于判断在一定显著性水平上回归二次项系数是否为 0。若 γ_2 显著不为 0，则根据上述分析，当 γ_2 显著小于 0 时，市场上存在剧烈的羊群行为。该模型认为，当羊群效应存在的时候，单个资产的收益率和市场收益率将会越来越接近，此时横截面 $CSAD_t$ 绝对偏差与市场收益率 $R_{m,t}$ 将会表现出一种非线性关系。当羊群效应不太剧烈，$CSAD_t$ 随 $R_{m,t}$ 增加；当羊群效应十分剧烈的时候 $CSAD_t$ 随 $R_{m,t}$ 下降。所以，该模型能够很好的捕捉羊群效应的存在[12]。

2.1.1 投资者羊群行为存在性研究方法设计

定义如下的 CSAD 模型来验证房地产市场的投资者是否存在羊群行为：

$$CSAD=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|E_t(R_{i,t})-E_t(R_t)\right| \quad (6)$$

式中：N 表示选取的样本数据中城市数量，$R_{i,t}$ 表示 i 城市在第 t 月的房地产市场收益率，R_t 表示第 t 月全国房地产市场收益率。第 t 月某 i 城市的房价收益率计算方式为：

$$R_{i,t}=100\times[\ln(P_{i,t})-\ln(P_{i,t-1})] \quad (7)$$

$$R_t=100\times[\ln(P_t)-\ln(P_{t-1})] \quad (8)$$

式中：P_t 为 i 城市第 t 月的平均房价，P_{t-1} 为 $t-1$ 月全国平均房价，$P_{i,t}$ 为 i 城市第 t 月的平均房价，$P_{i,t-1}$ 为 i 城市第 $t-1$ 月的平均房价。

此外，假设 2020 年 GDP 总值>20 000 亿城市房地产市场组合房价收益率为 $R_{a,t}$；$R_{b,t}$ 表示 2020 年 GDP 总值在 10 000 亿至 20 000 亿之间城市房地产市场组合房价收益率；$R_{c,t}$ 为 2020 年 GDP 总值低于 10 000 亿城市房地产市场组合房价收益率。则有：

$$R_{a,t}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}R_{i,t} \quad (9)$$

$$R_{b,t}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}R_{i,t} \quad (10)$$

$$R_{c,t}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}R_{i,t} \quad (11)$$

$R_{a,t}$，$R_{b,t}$，$R_{c,t}$ 分别为 N 个 $R_{i,t}$ 的算数平均数，(9)式(10)式和(11)式中的 $R_{i,t}$ 分别表示 2020 年 GDP 总值在不同区间的三类城市中每个城市的房价收益率。建立检验房地产市场羊群行为的 CSAD 模型：

$$CSAD_t=\gamma+\gamma_1\left|R_{m,t}\right|+\gamma_2R_{m,t}^2+\varepsilon_{t1} \quad (12)$$

当 γ_2 显著不为零时，表明横截面收益绝对偏差 $CSAD_t$ 与市场收益 R_m 存在非线性关系。该模型认为，当系数 γ_2 显著大于零时，市场上存在羊群行为但不太剧烈，$CSAD_t$ 随着 $R_{m,t}^2$ 增加而增加；当系数 γ_2 显著小于零时，表明此时市场中存在严重的羊群行为，$CSAD_t$ 随着 $R_{m,t}^2$ 增加而减少。因此该模型可以精准捕捉到市场存在的羊群行为。

2.1.2 投资者羊群行为差异性研究方法设计

Chang 等[13]指出 CSAD 模型不仅能检验市场中羊群行为的存在性，同时能看出不同市场组合下羊群行为的严重程度。对房地产市场划分为 2020 年 GDP 总值(单位为亿元)大于 20 000、在 10 000 至 20 000 之间、小于 10 000 三个不同的市场组合，分别用 CSAD 模型看三个市场组合中房地产投资者的羊群行为程度差异，其公式如下：

$$CSAD_t^A=\gamma_0+\gamma_1\left|R_{a,t}\right|+\gamma_2R_{a,t}^2+\varepsilon_t \quad (13)$$

$$CSAD_t^B=\gamma_3+\gamma_4\left|R_{b,t}\right|+\gamma_5R_{b,t}^2+\varepsilon_t \quad (14)$$

$$CSAD_t^C=\gamma_6+\gamma_7\left|R_{c,t}\right|+\gamma_8R_{c,t}^2+\varepsilon_t \quad (15)$$

通过判断 γ_2，γ_5，γ_8 的正负情况，来检测本文所划分的三个市场组合是否存在羊群行为，再通过比较 γ_2，γ_5，γ_8 相对值大小，判断三个市场组合中羊群行为的严重程度，从而进一步研究不同市场组合下羊群行为的差异性。

2.2 数据的选取与处理

2.2.1 数据选取

考虑到城市是否具备代表性，故选取了我国我国大陆 22 个省份的省会城市以及 4 个直辖市共 26 做城市作为研究对象。数据主要来源于中国房地产指数系统以及中国指数研究院，通过对所选取城市 2015 年 6 月至 2020 年 6 月的月度平均房价进行收集整理。具体城市划分详情如下表 1。

表 1 城市划分详情

Fig.1 Details of city divisions

GDP>20 000	10 000<GDP<20 000	GDP<10 000
北京、上海、广州、重庆	西安、郑州、济南、合肥、长沙、武汉、南京、成都、杭州、福州、天津	昆明、哈尔滨、长春、沈阳、石家庄、南昌、兰州、西宁、太原、贵阳、海口

主要目的是对 2015—2020 年我国房地产市场中投资者羊群行为进行存在性及差异性检验,因此在根据各目标城市 2020 年 GDP 总值对其进行分类后,以各城所选时间区间内月度平均房价作为原始样本。

经过筛选整理后,本文原始数据总计 1 586 个,其中,“GDP>20 000 城市” 月平均房价数据 244 个;“10 000<GDP<20 000 城市”月平均房价数据 671 个,“GDP<10 000 城市”月平均房价数据 671 个。进而根据原始数据(各城月平均房价),分别计算出所选时间内各城各月份房地产市场收益率,并计算出已划分好的三类城市的市场房价收益率。各城房价收益率数据共 1 560 个,其中“GDP>20 000 城市”240 个,“10 000<GDP<20 000 城市”660 个,“GDP<10 000 城市”660 个。

2.2.2 数据处理

由于所得原始数据是各个城市的月平均房价,则可直接通过上述公式计算出各城市和全国的房价收益率和各组 CSAD 值。对分类后的三组样本数据平均房价收益率与收益率截面数据绝对差进行统计分析。结果分别见表 2、表 3、表 4。

表 2 GDP>20 000 城市样本数据收益率横截面绝对差与房价收益率的描述性统计

Fig.2 Descriptive statistics of the house price yield and the absolute difference of cross-sectional yield for the sample data of cities with GDP >20,000

指标	CSAD	房价收益率
Mean	0.527 136	0.557 636
Maximum	1.402 091	2.873 046
Minimum	0.100 056	-0.260 543
Standard Deviation,S.D.	0.297 216	0.584 765
Skewness	1.446 656	1.561 436
Kurtosis	4.630 527	5.961 801
Observations	60	60

表 3 10 000<GDP<20 000 城市样本数据收益率横截面绝对差与房价收益率的描述性统计

Fig.3 Descriptive statistics of the house price yield and the absolute difference of cross-sectional yield for the sample data of cities with GDP between 10,000 and 20,000

指标	CSAD	房价收益率
Mean	0.559 031	0.649 577
Maximum	1.477 488	3.673 886
Minimum	0.199 231	-0.469 664
Standard Deviation,S.D.	0.299 464	0.665 633
Skewness	1.463 843	2.317 172
Kurtosis	4.647 724	9.601 731
Observations	60	60

表 4 GDP<10 000 城市样本数据收益率横截面绝对差与房价收益率的描述性统计

Fig.4 Descriptive statistics of the house price yield and the absolute difference of cross-sectional yield for the sample data of cities with GDP <10,000

指标	CSAD	房价收益率
Mean	0.674 852	0.526 589
Maximum	2.267 167	1.604 951
Minimum	0.240 341	-0.457 203
Standard Deviation,S.D..	0.375 93	0.485 937
Skewness	2.043 913	0.038 722
Kurtosis	8.130 694	2.488 223
Observations	60	60

3 实证结果及分析

3.1 存在性及差异性检验

根据公式(13)、(14)、(15)分别对三个不同市场在样本期间间羊群行为进行实证检验研究,分析其羊群行为的存在情况。结果见表 5~表 7。

表 5 GDP>20 000 城市房地产市场投资者羊群行为检验结果

Fig.5 Results of herd behavior test of investors in real estate market for the sample data of cities with GDP >20,000

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RR	0.399 694	0.143 148	2.792 17	0.007 1
R_2	-0.032 604	0.062 226	-0.523 958	0.602 3
C	0.317 297***	0.056 713	5.594 798	0
R-squared	0.396 402	Mean dependent var		0.527 136
Adjusted R-squared	0.375 224	S.D. dependent var		0.297 216
S.E. of regression	0.234 928	Akaike info criterion		-0.010 367
Sum squared resid	3.145 901	Schwarz criterion		0.094 35
Log likelihood	3.311 012	Hannan-Quinn criter.		0.030 594
F-statistic	18.716 89	Durbin-Watson stat		1.260 49
Prob(F-statistic)	0.000 001			

注:*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%显著性水平下显著,下同。

表 6 10 000<GDP<20 000 城市房地产市场投资者羊群行为检验结果

Fig.6 Results of herd behavior test of investors in real estate market for the sample data of cities with between 10,000 and 20,000

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RR	0.180 461	0.130 376	1.384 165	0.171 7
R_2	0.042 291	0.041 459	1.020 071	0.312
C	0.402 638***	0.062 167	6.476 722	0
R-squared	0.447 769	Mean dependent var		0.559 031
Adjusted R-squared	0.428 393	S.D. dependent var		0.299 464
S.E. of regression	0.226 409	Akaike info criterion		-0.084 24
Sum squared resid	2.921 88	Schwarz criterion		0.020 477
Log likelihood	5.527 205	Hannan-Quinn criter.		-0.043 279
F-statistic	23.108 88	Durbin-Watson stat		0.670 34
Prob(F-statistic)	0			

表 7 GDP<10 000 城市房地产市场投资者羊群行为检验结果

Fig.7 Results of herd behavior test of investors in real estate market for the sample data of cities with GDP <10,000

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
RR	0.008 606	0.430 888	0.019 973	0.984 1
R_2	0.123 178	0.286 305	0.430 235	0.668 6
C	0.606 956***	0.133 731	4.538 635	0
R-squared	0.041 328	Mean dependent var		0.674 852
Adjusted R-squared	0.007 691	S.D. dependent var		0.375 93
S.E. of regression	0.374 482	Akaike info criterion		0.922 159
Sum squared resid	7.993 485	Schwarz criterion		1.026 877
Log likelihood	-24.664 78	Hannan-Quinn criter.		0.963 12
F-statistic	1.228 632	Durbin-Watson stat		0.769 855
Prob(F-statistic)	0.300 326			

注:RR 表示 R 的绝对值;R_2 表示 R^2;C 表示常数项。

由上表可知:在文中划分的三类城市房地产市场中,皆存在有不同严重程度的羊群行为。其中 GDP 大于 20 000 的城市房地产市场中羊群行为显著,10 000<GDP<20 000 城市及 GDP 小于 10 000 城市房地产市场中,投资者羊群行为较为微弱。

3.2 检验结果分析

在原始数据收集过程中,易发现在本文选取时间段内,所选城市房价大致呈现逐月增长态势,偶有月度房价与上月比较呈现小幅度减少的现象。各年份之间增长幅度大,所选城市皆有一个明显的房价增长趋

势。房价增长的同时,交易量也呈现增长趋势。站在投资者角度,其看到的是未来房价将显著高于购入价,可以实现低买高卖,从中获利;站在普通购房者角度,其看到的是,越早购房越能以低价买入,并且此时购入的房产会在未来实现稳定的价值增长。当市场参与者存在这样的心理时,购房热的局面已经形成,再加上相关媒体发布出参差不齐的信息,其中可能包括恶意炒作房价的不良信息,导致市场参与者受到各种信息干扰,无法寻求到一个全面透彻的信息获取渠道,于是出现大范围购房者产生不理性投资行为的现象。

GDP 总值相对较高的城市经济发展迅猛,其房地产市场在全国范围内处于前端位置,高发展程度城市的房价上升速度快,市场中投机者、房地产商和购房者更易产生大范围狂热投资,过于超前的发展使得房地产市场上出现大量投机行为。本文选取的北京、上海、广州、重庆四城由于城镇化水平相对其余城市更高,这会造成其房地产市场极度供需不平衡,从而导致房价偏离正常轨迹,传递出更多冗杂信息。再加上高度发展城市对各种调控政策的敏感度更高,这些因素都会造成 GDP>20 000 的城市房地产市场羊群行为显著。

除此之外,近年来学区房热也尤为突出。不少家长为了让下一代接受良好教育,不惜倾家荡产购入名校学区房。无论是新开发的或是二手学区房,都备受欢迎,学区房市场极为供不应求。由于义务教育政策要求小学、初中就学者入学与户籍挂钩,在教育资源分布不均的作用下,市场对学区房需求激增。房地产开发商、房产中介以及市场投机者纷纷察觉出其中的巨大利益,哄抬学区房房价,营造出一房难求的局面,造成广大家长蜂拥而至为其投资,导致学区房价格与交易量一路飙升。经济发展程度越高的城市,越具备教育资源竞争力,北京上海等城市更是名校云集,这也使得 GDP>20 000 的城市房地产市场羊群行为明显比 10 000<GDP<20 000 城市与 GDP<10 000 城市中房地产市场羊群行为严重程度高。

对于经济发展程度偏弱的城市,房地产市场参与者更容易受到传统思想的影响。多认为有属于自己的房产才是建立家庭的基础,同时也会在同龄人中形成一种无形的压力,当身边同龄人都成家立业,结婚生子,便会产生一种自己一事无成的错觉。房地产开发商以及市场投机者也是看到这一现象,由此入手,通过各种网络媒体大肆宣传名下坐拥房产的重要性。这也是导致群众购房热的部分缘由。随着近年来年轻人思想的转变,以及购房压力愈发超出年轻人所能承受的范围,该情况造成的非理性购房投资行为有所改善。故该研究展现出 10 000<GDP<20 000 城市与 GDP<10 000 城市房地产市场仅存在微弱羊群行为的结果。

4 结论与对策建议

我国房地产市场具有羊群行为,这主要是由我国房地产行业发展不够完善,市场公共信息披露不完全,缺乏透明信息获取平台,市场参与者对房地产认知不全面,对信息判断不客观等因素所导致。为此本文就如何促进房地产平稳健康发展提出以下建议。

4.1 加强信息透明度,建立权威信息渠道

市场羊群行为产生的一大重要因素是信息不对称,房地产市场信息系统的建设尤为重要。应建立官方权威信息平台,从信息归纳、信息引导、信息发布等方面对房地产市场相关信息进行整理,供购房者参阅。除信息获取平台外,供需双方交流平台也是有必要的。强制房地产商披露信息,相关部门定期发布更新房价、交易量等信息,就公布政府针对房地产市场的相关政策并予以解读,使得供需双方实现信息共享,引导市场有序发展。

4.2 政府加强调控力度,把控好调控频次

在政策调控方面,首先要坚持“因城施策”,针对城市之间发展程度差异进行调控,分类处理,才会取得更强的政府干预效果。加强协调政府与市场的关系,促进市场发挥其作用。

其次,要尽量维持房地产市场供求平衡,预防市场大幅度波动。要达到市场稳定运行的效果,需从供给方面与需求方面两手抓。市场对资源配置起决定性作用,政府与市场之间的关系需要进行合理协调,方能使资源配置充分发挥其最大效率。

4.3 完善房地产市场监管机制

政府应建立相关监管机构,严格监督房地产市场

供求、价格情况,严肃处理房地产市场欺诈行为,杜绝虚假广告、炒房团哄炒房价。坚持“房子是用来住的,不是用来炒的”基本政策定位。将注重短期效应的形成调控转变为长期的全方面改革。加强住房金融体系的改善,完善房地产税收制度土地供应制度等相关制度建设。加强市场监测,坚持因城施策,积极防范风险, 建立长效机制促进房地产市场平稳健康发展的。可建立市场参与者信用档案,约束投资者行为,引导市场健康发展。

4.4 合理配置教育资源

学区房价格和交易量不断攀升的源头是优质的教育资源十分有限,解决学区房热这一问题,首先要解决我国教育资源分配不平衡的问题。争取尽早实现各区域教师配备、教育基础设施、教育经费、教育管理制度等各方面公平公正。维持发展程度不同省市间师资水平、升学率平衡,能够有效改善高发展程度城市学区房供不应求、价格不合理等问题。

4.5 改变投资者投资理念,降低投资者心理预期

引导消费者重视自身需求, 充分运用有效信息,做出理性投资决策, 避免风险。在市场利益诱惑下,消费者易产生较高的心理预期,盲目乐观地做出非理性决策。此时可通过限售限购等硬性手段进行降低购房者心理预期的引导,这样能够减缓房屋买卖的流动性,达到给投机狂热降温的效果。同时要多向市场参与者进行良性引导教育,用标语、宣传手册等形式为投资者建立相关知识体系, 避免购房者盲从投资,造成市场风险。

参考文献:

[1] 郑挺国,葛厚逸.中国股市羊群效应的区制转移时变性研究[J].金融研究,2021(3):170-187.

[2] 朱广印,杜宏伟.金融市场投资者“羊群行为”相关研究述评[J].商业时代,2009(20):100-101.

[3] 程子悦,巴曙松.股市羊群行为的 CSAD 指标的探究与应用[J].金融理论与实践,2021(11):8-21.

[4] 鞠方,周佳梅,彭李娜.购房者羊群行为对中国房价波动的影响研究[J].湖南大学学报(社会科学版),2016,30(2):87-93.

[5] 朱菲菲,李惠璇,徐建国,等.短期羊群行为的影响因素与价格效应:基于高频数据的实证检验[J].金融研究,2019(7):191-206.

[6] 高帆.关于房地产投资的羊群行为研究[D].长春:吉林财经大学,2018.

[7] BANERJEE A V.A simple model of herd behavior[J].The Quarterly Journal of Economics,1992,107(3):797-817.

[8] SCHARFSTEIN D S, STEIN J C.Herd Behavior and Investment[J].Amercian Economic Review,1990,80(3):465-479.

[9] MAUG E, NAIK N.Herding and Delegated Portfolio Management: The Impact of Relative Performance Evaluation on Asset Allocation[J].Quarterly Journal of Finance, 2011,1(2):265-292.

[10] 王丽艳,崔燚,王振坡. 政策干预、羊群行为与房地产价格波动[J].华东经济管理,2019, 33(3):111-118.

[11] 周维.信息不对称、羊群行为与房地产市场的居民破产[J].中国市场,2020(21):60,64.

[12] 温宇静,唐慧玲.羊群行为对商品房交易区域影响研究[J].兰州财经大学学报,2017,33(3): 44-55.

[13] CHANG E C,CHENG J W,KHORANA A. An Examination of Herd Behavior in Equity Markets: An international perspective[J].Journal of Banking & Finance,2000,24(10):1651-1679.

An Study of Herd Behavior for Investors on Real Estate Market

LIU Jin´e, HE Siyu

(School of Economics and Management, Xiamen University of Technology, Xiamen, Fujian 361024)

Abstract: How to reduce and resolve the risk of the real estate market, to ensure the smooth development of the real estate market, has been concerned by all sectors. This paper mainly uses CSAD model to test the existence and difference of investor´s herd behavior in our country´s real estate market, and finds that there is herd behavior in our country´s real estate market participants, the higher the GDP per capita, the more serious the herding behavior. At the same time, this paper based on consumer buying psychology tries to explain the phenomenon of herding effect in the real estate market of high-development areas in our country. Finally, this paper gives some suggestions on how to promote the steady and healthy development of the real estate market from five aspects: the transparency of market information, the regulation of government policies, the comprehensive degree of market supervision, the reasonable degree of education resources allocation, and the investment concept of investors.

Key words: herd behavior; real estate market; CSAD model

(责任编辑:叶丽娜)

1+X 证书在应用型本科院校的探索与实践
——以武夷学院“设施蔬菜生产”为例

聂传朋，高雪，王桂英，李焰焰

（武夷学院 茶与食品学院，福建 武夷山 354300）

摘 要：针对武夷学院园艺系 1+X 证书试点项目“设施蔬菜生产”证书进行认知问卷调查，并对本次试点实践情况进行总结。结果显示：试点工作使师资得到加强、学生培养质量得到提高，学校影响力也进一步扩大。在此基础上，进一步对学校相关教学工作等提出建议，促进 1+X 证书制度下应用型本科高校的发展。

关键词：1+X 证书；应用型高校；探索；实践

中图分类号：G719.2 **文献标识码**：A **文章编号**：1674-2109(2023)09-0095-05

2019 年 3 月的十三届全国人大二次会议上，国务院总理李克强提出，当前我国现代技能教育的发展需要加快，技能教育不仅要有效缓解当前就业压力，同时要能够解决缺乏高技能人才的问题[1]。为解决此类问题，推进新时代技能教育改革发展，实现“加快学历证书和技能等级证书的互通衔接”，国家出台了 1+X 证书制度。

1+X 证书制度就是学历证书和技能等级证书的结合，“1”是根基，“X”是 1 的加强和扩大。“+”是将学历教育和技能等级标准考核互通衔接，确保在校学习基础学业期间，能够为学生提供获得更多知识和技能的机会和平台。这是技能教育中的一项重大创新，是未来技能教育和培训的基本管理体系，确保了新时代社会和大学之间研究与组织改革之间最深层次的凝聚力，是关于培养、评价、管理复合型技术技能人才培养的全新制度改革[2]。

收稿日期：2022-06-22

基金项目：武夷学院教育部 1+X 职业技能证书试点项目（ZS202201X）；武夷学院虚拟教研室（XJXNS221105）；省级一流专业（SJZY2020002）共同资助。

作者简介：聂传朋（1974-），男，汉族，博士，主要从事生态学的研究。

通讯作者：李焰焰（1976-），女，汉族，教授，主要从事园艺学的研究。

自 1+X 证书制度开始实施，在分批次试点等一系列措施下，在政策上为高校转型提供了有效保障，使地方应用型本科院校敢转型、能转型，使院校与企业合作共同培养人才的模式得到进一步的深化，在不断发展融合中，最终促进学校教学工作模式的优化、教学现有资源的有效配置，同时提高应用型人才在技术方面的水平能力、与同行之间的竞争力，最终综合提高院校教育水平，为社会输送高综合素质人才[3]。

基于以上情况，教育部第四批 1+X 证书试点项目启用了“设施蔬菜生产”职业技能证书试点。2021 年武夷学院“设施蔬菜生产”职业技能证书试点项目从申报到考核进行了一轮实践和探索，本文就证书认知问卷调查及本次试点实践情况，总结试点工作的成效及分析存在的问题，进一步对学校相关教学工作等提出建议，促进园艺系在分类招生前提下的分类教育和技能教育，进而促进 1+X 证书制度下应用型本科高校的转型发展。

1 关于 1+X 证书认知的调查报告

针对学生及社会人士对 1+X 证书制度的认知性做了问卷调查，发放 200 份，共收回有效问卷 171 份。

调查对象大多为学生和已工作的青年，超过 85.38%的人认为技能水平是影响就业的重要因素之

一,且 67.25%的人认为考取证书对未来会有所帮助,然而,对于 1+X 证书 77.78%的人都从未了解过。

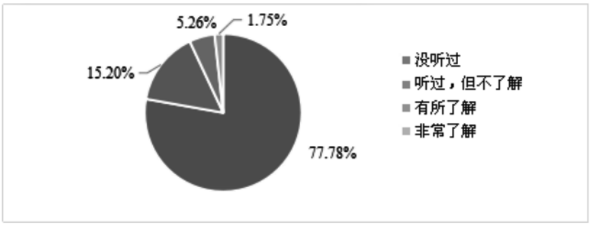


图 1 了解情况

Fig.1 Illustrates the situation

在校学生中,参与过 1+X 考核者占 31.65%,其中有 53.85%的学生在考前参与过学校举办的培训,且认为培训的形式多样,资源丰富,有较好的效果(该人群占 54.55%)。关于学校对其专业的技能课程训练,调查表明只有 26.45%的学校经常开展训练,42.9%的学校偶尔开展训练,19.84%的学校没有开展过训练,甚至有 4.13%的学生认为开展此类训练没有效果。

该证书实施年限较短,缺乏强有力的宣传,大多数人虽然认为技能是就业的影响因素之一,但却并不了解甚至并不知道 1+X 证书。对于 1+X 证书,社会的认可度不高,含金量较低,多数人不愿将有限的时间花费其中。但对于有意愿的学生来说,则希望学校能够加强相关培训,所以对于有技能培训的学校,要加强宣传,提高学生参与的积极性,完善制度,满足学生的需求。基于此背景,园艺系启动 1+X 证书试点。

2 “设施蔬菜生产”证书试点情况

下图是 2021 年武夷学院 1+X“设施蔬菜生产”职业技能证书总流程图, 从准备到申报再到考核等,差不多持续了一年的时间。

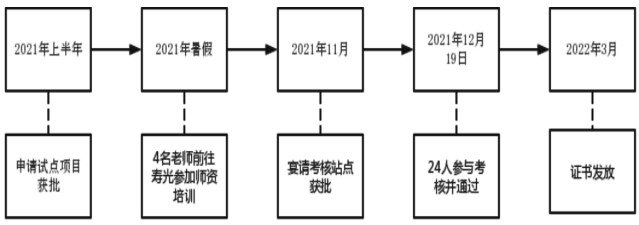


图 2 试点流程

Fig.2 Pilot flow

2.1 证书试点进度安排

共分为四个阶段,即筹备、试行、推广、提升。

(1)筹备阶段:组织人员学习并明确 1+X 证书制度的涵义,制定培养及评级标准,联合实践基地确定师资培训方案。

(2)试行阶段:申报试点项目、选派教师参训、对标筹建并申报考核站点,向园艺系学生宣传,对有意向参与的同学进行培训并组织考核。

(3)推广阶段:在前一轮的基础上,总结经验,继续开展试点工作。

(4)提升阶段:依据试行总结经验,制定人才培养方案,全面推广培训与考核。

2.2 证书试点目标及措施

(1) 持续推进“1”与“X”的衔接,深入研究“设施蔬菜生产”技能证书等级与园艺系专业人才培养方案有机结合,推进学生的分类培养。

(2) 开展“设施蔬菜生产”高级证书技能培训工作。

(3) 打造专兼结合教学团队,加强专兼结合的教学团队建设,选派教师参加培训工作,提升教师的综合能力。

2.3 证书试点情况

基于以上的进度安排和试点目标,园艺系在将其准备的基础上,2021 年上半年申报获批了教育部 1+X“设施蔬菜生产”职业技能证书试点项目,随后暑假选派了专业教师参加山东省寿光蔬菜产业集团有限公司的师资培训并获得相应的师资证书,对标考核站点申报指标,进行了准备和建设,11 月份申报获批了 1+X“设施蔬菜生产”职业技能证书(高级)考核站点。随后组织宣传和动员, 共有 18 级园艺和 19 级园艺 24 人参与报名和培训。2022 年 12 月 19 日,在教务处、实管中心、茶与食品学院的支持和配合下,园艺系顺利举行了教育部 1+X“设施蔬菜生产”职业技能证书(高级)考核。结果参与人员全部通过并获得相应的证书。

3 1+X 证书试点取得的成效

通过此轮试点项目的顺利举办,可以得出:第一是学校有丰厚的基础条件, 校内外多处培训基地,使培训多样化,能够激发学生的学习兴趣;第二是教师有高水平综合能力,不仅有丰厚的知识储备,熟练的操作技能,更有较好的教学技能,使学生能够快速理

解教学内容、掌握知识技能;第三是日常教学中的大量实训,可以强化课堂所学内容,使学生能够做到理论、操作同兼顾。此轮的试点,同时也取得了一些成效,下面分点进行论述。

2.1 师资获得了加强

通过试点项目准备及申报,老师对 1+X 有更深入的了解,同时有数位老师参加了项目实施单位的师资培训并获得了师资培训资格证书及考核证书,促进园艺系双师型教师的培养。

2.2 提高了学生培养质量

参加的学生通过相关学习和培训,掌握了设施蔬菜生产的知识及实践技能,并顺利通过考核,获得了职业技能证书,同时在国家学分银行中也获得了认定,学生的培养质量获得了提升。

2.3 产教融合获得了加强

从筹备“设施蔬菜生产”职业技能证书试点项目开始,相关老师就开始拓宽实践教学渠道,项目负责人聂传朋及主要成员李焰焰 2021 年申报省级科特派,分别挂点南平市武夷葡萄沟果蔬专业合作社联合社和武夷山市梦松蔬菜农民专业合作社,并组建了两支园艺植物种植技术服务团队,支持南平市及武夷山市果蔬生产,同时结合 1+X 学生培训,加强产教融合,将学生带到基地,参与果蔬实际生产,加强学生果蔬生产实践实操能力,为学生全员通过 1+X 考核提供了保障。

在试点项目的开展过程中,与项目组织单位山东省寿光蔬菜产业集团有限公司进行了沟通和对接,搭建校企合作平台,为学生开拓视野、增长行业技能等方面提供了机会。同时结合园艺专业分类招生特色,主动对接学院省级产业学院(武夷茶学院和圣农食品学院),加强“设施蔬菜生产”以及产后深加工等相关学习和实践,深化产教融合办学和育人机制,借助产业学院平台和人才资源,组建 1+X 培训教学团队及相关拓展团队,构建园艺系学生分类培养模式,提升学院应用型人才培养水平。

经过一轮的探索与实践,1+X 试点给园艺系的本科教育带来了一些转变:教学育人体系由校内独自培养向校企合作、产教融合转变;学生实践应用能力培养体系由单一的按人才培训方案进行的实验实训课程向与 1+X 相结合的方式转变。有效促进学生实践动手能力、应用能力的提升和学院教学水平的提高,有效带动了学校转型发展工作的推进和深入,为校内其他学院 1+X 试点及应用型转型发展提供一些示范。在此基础上,茶与食品学院结合新农科建设,将设施农业及计算机科学进行融合,拟申报智慧农业新本科专业,力争在这方面有所突破。

2.4 加强了学校的社会影响

学校实践此次 1+X 试点,获得良好的效果,在此基础上,我院获得了组织机构颁发的优秀组织奖,同时项目负责人获聘 l+X“设施蔬菜生产”职业技能等级证书工作委员会常务委员,在提高学生培养质量的同时提升了学校的社会影响力。

4 1+X 证书试点的问题与原因

园艺系试点 1+X 职业技能证书项目,完善现有教学教育模式,提高了教学团队整体综合能力,加强了学校和社会的联系,推动学校产教融合,但在实施的过程中也发现一些问题。

4.1 学生考证动力有待加强

1+X 证书自 2019 年实施以来,还在不断的发展中,武夷学院园艺系第一次申办该证书试点项目,对师生尤其是学生来说了解甚少,甚至部分同学在该考核发布前才了解到还有这类技能考试。绝大多数学生在学习期间,都会选择参加计算机、英语、普通话、教师资格证等考试,且该证书考核内容与教学内容并不完全一致,还有其他相关内容需要同时掌握,许多同学在面临其他考试或学业任务时,由于时间精力等因素,就会选择放弃该考核。

4.2 园艺专业当前技能型人才培养效果不高

应用型本科院校对人才的培养,应围绕“培养什么样的人才、如何培养人才”这两大关键点,以指导思想为基础,与技能教育的本质、内涵相结合,构建相匹配的教育程序和结构。高校通常根据生源和学校层次来制定培养计划培养目标,建立教学体系,制定管理制度,确定教学内容,稳打稳扎培养学生,但该模式常缺乏灵活性和多样性。而 1+X 证书制度的精髓就在于专业知识和专业技能上的相互贯通,在实现专业能力培养的同时掌握技能。在实践过程中,发现学生理论

与实践的平衡更偏向于理论,技能型教育有待于加强。

4.3 教师专业能力发展不明确

目前对应用型本科教师的专业标准与职业院校教师的专业标准是不一致的,在应用型本科院校中实施 1+X 证书制度,教师的专业能力如教育教学设计、组织与实施、激励与评价、沟通与合作、反思与发展等诸多方面的要求对接 1+X 证书制度下的教师的标准有一定的差距,毕竟《高职教师专业标准(试行)》与应用型本科院校教育发展方向不一致,同时对各层级的技能教育又有不同的要求,这就导致教师队伍的技能教学能力培养缺乏明确的方案,最终影响院校人才培养的质量[4]。

4.4 书证的融合方式程度有待摸索

该证书制度还处于起步阶段,对教师来说,如何摸透考核内容,如何有效实行“+”,如何将认证培训的内容纳入专业人才培训计划,如何优化课程设置等一系列问题还有待研究和完善。这种“1”与“X”的融合除了内容上的融合,更有教学方法上的融合。而目前的融合方式主要分为两类:其一:“X”全面融入“1”。这种模式可以使“1”、“X”对学生的要求同时得到满足,但由于证书的权威性、标准以及社会认可度还有待检验,这就可能造成专业培养目标的偏离,错误引导接受培养的学生。其二:将“1”、“X”相对接,既能兼顾“1”对学生的要求,又能根据“X”的要求扩展学习任务,对学生做额外的培训,但这会消耗大量的时间和精力,真正能够统筹兼顾的方法还有待探索[5]。

5 在应用型本科院校有效推进 1+X 证书制度的对策

5.1 加强对应用型本科院校推进 1+X 证书制度的的支持

在国家政策层面及省级层面,统筹规划和协调应用型本科院校推进 1+X 证书体系实施内容、目标和计划的试点工作,明确 1+X 证书的权威性和含金量,设立对应的监督管理体系,落实各个环节。加强对应用型本科院校推进 1+X 证书制度的政策支持,确保 1+X 证书制度在应用型本科院校的有效发展。

5.2 加强书证融合

要做到 1+X 证书制度的有效推进,关键是加强书、证的融合。主要分为三个方面:一、教学目标和教学过程的融合,使教学目的得到实现;二、培养目标和社会企业用人要求融合,使学生学有所长、学有所用;三、课程体系与技能标准融合,使所学能与实际操作互通有无,用理论解决操作,用操作丰富理论[6]。

在现有资源条件下,通过优化教学组织方式、内容,完善教学模式,增设相关课程,完善相关实操设备,加强实操训练,与相关企业加强合作,提供实训场所,实现有效实训,逐步丰富学生的专业知识,提高学生的专业技能。

5.3 企业要响应国家号召,积极参与,与学校加强联系

“职教 20 条”中指出:要“推动校企全面加强深度合作,建设企业和社会力量为主的多元办学格局[7]。企业在 1+X 证书制度试点试行和贯彻落实中有重要地位。与学校加强合作,提供实操训练设备、实训基地等,使学生得到有效的专业技能培训,适应社会企业工作环境,增加相关经验,提升自我的综合能力,在以后的工作中能够及时适应岗位,灵活变通处理突发事件,发挥专业技能。

5.5 培养学生积极性

学生是制度实践的主题,要加强 1+X 证书制度相关内容的宣传,使学生了解该制度相关,确保思想认识到位。根据学生特点和未来技能规划,鼓励学生参与,丰富个人经历,提升个人水平。强化学习动力,提高参与度及获证比例。学生是实施能否成功的关键一环,所以在制度定制过程中要以学生为主体,围绕学生本身展开,结合实事及时调整制度,跟上社会的脚步,真正让更多学生积极参与到考核当中。

6 结论

“设施蔬菜生产”职业技能证书试点项目从申报到考核进行了一轮的实践和探索,总结试点工作的成效并分析了存在的问题,提出一些对策,促进园艺系在分类招生前提下的分类教育和技能教育,进而促进 1+X 证书制度下应用型本科高校的转型发展。

武夷学院自 2019 年 1+X 证书制度实施以来,已

举行数次制度考核,本次武夷学院园艺系关于“设施蔬菜生产”的试点工作已也圆满完成。该类型的制度考核能够顺利举行并最终获取较高通过率离不开:学校丰厚的基础条件、教师的高水平综合能力、对学生在日常教学中展开大量实训等优点。

武夷学院园艺系将以“设施蔬菜生产”职业技能证书试点为切入点,加强相关技能教育,继续实践 1+X 证书制度,培养出高质量的应用型人才。

参考文献:

[1] 任叁.技能培训改善人才短缺“差异化”院校更有发展[J].中国对外贸易,2021(9):72-74.

[2] 赵坚.上海高职院校 1+X 证书制度试点:特点、举措与推进思考[J].中国职业技术教育,2022(4):75-79.

[3] 张寿芝,王忠国.基于 1+X 证书制度的应用型本科院校人才培养模式初探[J].昌吉学院学报,2022(1):85-89.

[4] 姜姗.我国设施园艺发展现状与趋势分析[J].智慧农业导刊,2021,1(12):5-8.

[5] 郑琴艳.1+X 证书制度下高职教师专业发展的逻辑、问题与出路[J].福建开放大学学报,2021(5):37-40.

[6] 于超群,李燕.关于 1+X 证书制度下构建“书证融合”课程体系的探讨[J].中国多媒体与网络教学学报(中旬刊),2021(3):186-188.

[7] 杨士恒.“职教 20 条”核心要义探析[J].黄河水利职业技术学院学报,2021,33(3):55-57.

Exploration and Practice of 1+x Certificate in Applied Undergraduate Colleges

——Taking "Protected Vegetable Production" of Wuyi University as an example

NIE Chuanpeng, GAO Xue, WANG Guiying, LI Yanyan*

(School of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan, Fujian 354300)

Abstract: According to the 1 + X Certificate Pilot Project of Department of Horticulture, Wuyi University, this paper made a cognitive questionnaire survey and summarized the practice of the pilot project. The results show that the pilot work has strengthened the teachers, improved the quality of student training, and expanded the influence of the school. On this basis, further suggestions on school-related teaching work to promote the development of the application-oriented undergraduate institutions of higher learning under the 1 + X certificate system.

Key words: 1+x certificate; applied universities; exploration; practice

(责任编辑:叶丽娜)

乡村振兴背景下“1357”生物技术工学人才培养新路径探析

鄢树枫，张建汉，张君诚

（三明学院 课程思政教学研究中心，福建 三明 365004）

摘　要：在乡村振兴战略实施背景下，生物技术专业人才欠缺，创新能力有限的问题日益突出，生物新兴产业的升级转型需要大批具备创新实践能力的应用型生物技术专业人才。通过发挥三明学院生物学省级重点学科和省级应用型学科的专业优势，开展乡村振兴背景下地方高校应用型生物技术工学人才培养的改革与实践，探索“1357”金字塔式地方应用型生物技术工学人才培养新路径，即“一条育人主线，三面效果评价，五类课程体系，七种元素融合”的改革举措，以期响应乡村振兴和生物产业需要，培育新时代具有创新意识的应用型生物技术人才。

关键词：乡村振兴；人才培养；生物技术；生物产业；教学改革

中图分类号：G642　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0100-04

乡村振兴战略是习近平同志于党的十九大报告中提出，并陆续出台《乡村振兴战略规划（2018—2022年）》和《中华人民共和国乡村振兴促进法》等文件，促使乡村振兴战略稳步推进，取得历史性成就[1-3]。在此背景下，高校作为人才培养基地，担负区域经济发展重任，为社会输送掌握高新技术并能熟练应用的高素质人才[4]。当前，我国地方生物产业面临资源高质量加工、产业链延长等发展趋势。地方应用型本科院校的生物技术专业工学专业，如何培养出符合社会需要的生物技术工学人才，是值得深思的问题。因此，乡村振兴背景下的地方应用型生物技术工学人才培养的改革势在必行，人才培养链应建在产业链和创新链上，响应国家号召，抓住机遇，结合专业特点，助力乡村振兴[5-6]。

三明地处福建省中西部，森林覆盖率 76.8%，气候温湿，植被茂盛，生物富集显著，适于药用植物和动物生长繁殖。境内拥有药用资源 1 887 种，发展生物产业具有得天独厚的自然优势。“十三五”期间，我国生物产业市场需求进一步扩大，对生物产业发展的政策支持力度显著提升，三明市生物产业面临前所未有的发展机遇。近年来，三明市高度重视生物产业发展，将生物医药产业列为全市重点发展的四个新兴产业之一，全力推动产业高质量发展，助力乡村振兴。然而，在生物产业高速发展背景下，人才、科技资源欠缺，创新能力有限的问题日益突出，生物新兴产业的升级转型需要大批具备创新实践能力的应用型生物技术专业人才[7-9]。

三明学院是三明市唯一一所本科高校，在人才培养上坚守“创应用强校、育致用大才”愿景，树立“服务地方、为用育人”导向，向建设有特色高水平应用型大学的目标奋进。生物技术专业是三明学院的特色专业之一，在省级“植物学”“生物学”重点学科基础上，“生物工程”获批福建省首批应用型学科、硕士学位授予培育立项建设，着力打造生物技术专业省级人才培养

收稿日期：2022-03-29

基金项目：教育部产学合作协同育人项目(202102391006)；福建省教育教学研究项目(FBJY20230264)；三明学院高教研究课题(SHE2110)。

作者简介：鄢树枫(1991-)，男，博士，副教授，主要从事生物专业与学科建设的研究。

通讯作者：张君诚(1968-)，男，博士，教授，三明学院副校长，主要从事高等教育改革与管理的研究。

创新试验区。面对当前乡村振兴战略实施和生物产业发展要求,三明学院生物技术专业的培养模式急需创新优化。

鉴于此,通过发挥生物学省级重点学科和省级应用型学科的专业优势,开展乡村振兴背景下地方应用型生物技术工学人才培养的改革与实践。以乡村振兴和生物产业需求为导向,以学生为中心,以改革创新人才培养方案为抓手,结合生物类产业发展对人才培养质量进行提升,通过三明学院专业群、产业学院、项目驱动创新班、应用型教学团队和课程“五位一体”应用型人才培养思路,探索“1357”金字塔式地方应用型生物技术工学人才培养新路径,即“一条育人主线,三面效果评价,五类课程体系,七种元素融合”的改革举措。围绕立德树人培养理念,开展师、生、企三方效果评价,搭建通识基础,专业核心,实验实践,开放选修和第二课堂课程互通体系,交叉融合理论教学、见习实践、劳动教育、课程思政、服务地方、创业深造和乡村振兴七大元素,以期响应乡村振兴和生物产业需要,培育新时代具有创新意识的应用型生物技术人才。

图 1 “1357”金字塔式生物技术工学人才培养路径

Fig.1 The talant training path of the pyramid biotechnology engineering

1 一条育人主线

立德树人是中国特色社会主义教育事业的根本任务。响应三明学院立足三明,面向海西,辐射全国,为三明经济社会发展、海西建设和科教兴国提供人才支持和智力支撑的服务定位;贯彻三明学院培养理论基础扎实、实践能力较强、富有创新精神、适应区域经济社会发展需要的高素质应用型人才的培养目标定位。在人才培育新路径的探索上,创建立德树人整体氛围,激发立德树人的协同动力,强化立德树人的主体保障,校企协同优化培养方案,坚持正确的政治方向,科学的大学职能观和全面的人才观。

2 三面效果评价

为有效提高人才培养和教学质量,全方位跟踪人才培养过程和成效,提高人才培养和教学水平,完善当前人才培养模式的评价机制势在必行。通过设立三面效果评价,综合教师、学生和企业评价和反馈,形成动态监控和定期反馈并举的人才培养质量评价体系。

教师评价。从师德师风、教师课堂和实践教学质量、专业教学计划和教学改革举措等多方切入,构建督导团评议、系内教师互评和教师自评的综合评价方式,以期体现教学评价的准确性。

学生评价。构建学生评价体系遵循以学生为核心的主体性原则,学生个体差异的个性化原则,形成评价和终结评价相结合。兼顾多元化和发展性原则,充分发挥评价的导向、激励和改进作用。

政企评价。构建对高校人才培养具有指导性作用的生物技术专业人才企业评价机制,包含乡村振兴相关部门、合作企业和用人单位等对人才的反馈和评价,遵循“理论结合实践,校企政协同育人”原则,保证政企评价具有科学性、系统性、层次性、可操作性和动态性。

3 五类课程体系

课程体系设立是人才培养方案的核心,是生物技术应用型人才培养的关键所在。在《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》和三明学院培养方案制定指导意见基础上,明确各类课程目标、基本要求等课程质量标准,并结合乡村振兴背景、生物学科发展和产业特色,优化设置课程体系。

通识基础课。通识教育是培养大学生人文精神的关键环节,能够拓展学生的创作思维能力,增强学生对知识的整体性把握。开展的通识基础课程改革以人文素质培养为导向,适应社会发展需要,突显自我价

值的教育,为生物技术专业量身定制《生物技术与乡村振兴》《生命科学领域的就业择业观》等通识基础课程。

专业核心课。根据生命科学领域的发展现状和趋势,调整专业核心课程的设置,构建更加合理、科学、规范的专业核心课程。例如分析各课程的前后修学关系,保证课程间的关联性和递进作用;适当整合同领域的专业核心课程;增开符合乡村振兴和生物产业发展需要的新方向课程。

实验实践课。引导系内教师切实转变观念,提高认识水平,对生物技术人才培养方案中的实验实践课程进行与时俱进改革,完善实践教学体系,更新实践教学内容;将实验实践课程与乡村振兴、企业生产对接,提高校内外实践实训基地的利用率,增开与企业生产密切相关的《药用蛋白质纯化》等课程,对接企业搭建专业全覆盖的乡村振兴实践教学基地。

开放选修课。选修课在高校人才培养中具有显著的教学补充作用。根据生物技术专业和乡村振兴需要,灵活开设专业选修课和通识选修课。专业选修课的改革思路在于更加注重培养学生的专业素养、探索精神及创新能力。通识选修课的改革注重教学内容、基础知识与新知识相结合,采用灵活多样的教学方法,培养学生独立思考能力。

第二课堂课。第二课堂是以育人为核心,以培养学生课外学习能力和综合素质为目标,是对课程教学第一课堂的延伸和拓展。在现有生物技术专业的第二课堂课程基础上,对接乡村振兴相关部门,增加相关项目创新驱动班,鼓励师生科研合作课题服务乡村振兴,积极引导学生参与“青年红色筑梦之旅”等竞赛类项目等。从顶层设计上构建第二课堂课程体系,充分保证第二课堂的趣味性、专业性及其对第一课堂的协同互补作用。

4 七种元素融合

理论教学。在保持理论课程核心内容的系统性、完整性的前提下,对课程教学内容进行优化筛选,使课程能够与时俱进,与应用型专业能力的培养紧密结合。增强教师开展教学方法、教学技术研究,掌握科学有效的教学技术。

见习实践。优化生物技术专业培养方案见习实践的课程,加强该类课程的教学质量和针对性。将见习实践与学生毕业实习、毕业设计和就业相衔接,构建“小型就业”模式的见习实践课程,发挥一课双师作用,提高企业技术人才在高校教学中的比重。

劳动教育。引导师生树立劳动教育理念,健全生物技术专业培养方案中的劳动教育课程,开发“体验式劳动项目”。合理构建劳动教育体系,将劳动教育融入专业课程教学,在植物种植、动物饲养和生物育种等多方向课程中引入劳动教育元素。

课程思政。把握课程思政的建设方向,凝练生物课程思政元素,提升专业教师思政认知和思政能力。将理论知识传递与思政价值引领相互贯通,促进思政元素与专业知识的充分交融。最后,构建“评价–反馈–改进”的课程思政质量保障闭环。

服务地方。在专业、选修、实践和第二课堂等课程中融入服务地方元素,呼应三明学院服务地方经济发展的办学目标。与三明地方生物产业、行业建立良性互动,人才培育过程中注重引导师生科技成果的转化,实现科研成果的应用价值。

创业深造。在创新创业课程实施“理论–讲座–实践–反馈”的全方位创新创业人才培育形式,完善创新创业与专业课程的衔接。增设《生物类专业考研指导》课程,在各专业方向课程大纲中增加考研元素,提高教师在考研深造方面的引导和带动作用。

乡村振兴。在人才培育过程中,引导师生关注乡村振兴战略背景,了解各地乡村振兴实施需求,积极对接相关企业和部门。凝聚生物学科和专业科研资源,开展就业驱动班、专题讲座和学生科技特派员等促进乡村振兴战略人才队伍的培育。

5 总结

开展人才培养路径的改革创新对于提高高等教育质量,推动高等教育内涵式发展具有战略意义。培养方案设定的课程作为培养学生能力的主要载体,在人才培养中发挥重要作用。以乡村振兴和生物产业需求为导向,以学生为中心,以改革创新人才培养方案为抓手,通过三明学院专业群、产业学院、项目驱动创

新班、应用型教学团队和课程“五位一体”应用型人才培养思路,探索乡村振兴背景下“1357”生物技术工学人才培养新路径。以交叉与融合理念为人才培养改革创新突破点,将理论教学、见习实践、劳动教育、课程思政、服务地方、创业深造和乡村振兴等元素融入生物技术人才培养,坚持以实现学生多元成长成才和创新实践能力提升为核心,优化评价机制,从而探索出一条高质量、符合乡村振兴和社会发展需要的应用型人才培养新路径,为地方应用型高校的人才培养模式创新提供新思路。

参考文献:

[1] 中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见 [N]. 人民日报,2018-02-05(001).

[2] 陈龙.新时代中国特色乡村振兴战略探究[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2018,18(3):55-62.

[3] 左停,刘文婧,李博.梯度推进与优化升级:脱贫攻坚与乡村振兴有效衔接研究 [J]. 华中农业大学学报 (社会科学版),2019(5):21-28,165.

[4] 阎卫东,王素君,吕文浩.地方高校产教融合推进内涵式发展的逻辑分析和路径选择[J].现代教育管理,2021(06):44-50.

[5] 白京羽,林晓锋,尹政清.全球生物产业发展现状及政策启示[J].生物工程学报,2020,36(8):1528-1535.

[6] 柴国生. 科技精准供给驱动乡村振兴的时代必然与现实路径[J].科学管理研究,2021,39(1):132-141.

[7] 黄敏,孙建.践行两山理论 三明市森林生态保护成效明显[J].中国林业产业,2020(6):24-25.

[8] 陈炎伟,王强,黄和亮.福建省县域乡村振兴发展绩效评价研究[J].福建论坛(人文社会科学版),2019(09):182-190.

[9] 张君诚,刘健,龚兵丽.地方高校应用型人才培养模式创新实践:以“两导向三聚焦”模式为中心[J].三明学院学报,2020,37(1):90-95.

Research on the New Training Path of "1357" Biotechnology Engineering Talents Under the Background of Rural Revitalization

YAN Shufeng, ZHANG Jianhan, ZHANG Juncheng

(Sanming University Curriculum Ideological and Political Education Research Center, Sanming, Fujian 365004)

Abstract: Carrying out the reform and innovation of talent training path is of strategic significance for improving the quality of higher education and promoting the connotative development of higher education. Under the background of Rural Revitalization Strategy, the problem of lack of biotechnology professionals and limited innovation ability has become increasingly prominent. The upgrading and transformation of emerging biological industries need so many applied biotechnology professionals with innovative practice ability. By giving full play to the professional advantages of provincial key disciplines and provincial application-oriented disciplines of biology in Sanming University, we carried out the reform and practice of local application-oriented biotechnology engineering talents training under the background of rural revitalization, and explored the new path of "1357" pyramid type local application-oriented biotechnology engineering talents training, namely "one main line of education, three aspects of effect evaluation, five types of curriculum system, in order to respond to the needs of rural revitalization and biological industry, and cultivate innovative applied biotechnology talents in the new era.

Key words: rural revitalization; talent training; biotechnology; bioindustry; teaching reform

(责任编辑:叶丽娜)

新农科背景下园林专业一流本科课程建设方案探研
——以“园林制图”课程改革为例

朱旺生

（皖西学院　环境与旅游学院，安徽　六安　237012）

摘　要：以园林制图课程教学改革为例，对传统园林制图课程存在的主要问题进行分析。研究表明：教学目标设置没有体现新农科背景下人才培养需求特点；课程教学内容体系“高阶性、挑战度”不足；课程教学方法手段和教学考核方式“创新性”不够。针对上述问题，从 5 个方面提出了新农科背景下园林制图一流本科课程建设具体方案：调整课程知识、能力和素质教学目标，培养复合型农林人才；凸显综合能力，重构课程理论知识体系；注重动手能力，强化实践教学体系；改革课程教学方法，采用线上线下混合式教学；注重课程教学过程考核，形成性和总结性评价相结合。园林制图课程改革方案将为培养园林专业农工交融复合型人才奠定良好的专业基础。

关键词：新农科；园林制图；一流课程；教学改革

中图分类号：G642　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-2109(2023)09-0104-06

“安吉共识（2018 年）”“北大仓行动（2019 年）”“北京指南(2019 年)”奏响新农科建设“三部曲”，为高等农林教育改革指明了方向，提出了新要求，开拓了农林教育改革的新路径[1-2]。“双万”计划(2018 年)拉开了一流本科课程建设的序幕，强调要完善以质量为导向的课程建设激励机制，形成多类型、多样化的教学内容与课程体系，建设“金课”，淘汰“水课”，提升本科课程教学质量和人才培养质量[3-5]。在新时代，高等农林教育的使命是促使涉农高校、涉农专业要积极推进新农科建设，拓展农林专业内涵，创新农林专业教育新理念，建设一批一流农林专业和一流农林课程，培养适应新时代社会经济需求的农林人才[6-9]。

传统农林学科由于缺乏学科交融，专业口径较小，培养的农林人才偏重农科知识，不能有效解决新时代乡村振兴和生态文明建设中常常面临的复杂农林工程问题，亟待改造升级[10-13]。新农科建设就是要基于新时代农林新产业新业态发展要求，用现代生物技术、工程技术对传统农业提档升级，建设面向休闲农业、森林康养等新兴涉农专业的和基于农工交融的复合型农林人才[14]。因此，对传统农林学科课程设置进行改革、升级，打破传统思维定式和固有桎梏，结合新时代社会经济发展和对农林行业人才实际需求，培养农工交融复合型人才十分必要。

课程是人才培养的落脚点着力点。课程质量直接决定人才培养质量。建设一流课程，是农林类专业人才创新培养的重要抓手[15]。园林制图是园林专业的重要专业基础课，是一门将知识、素质和能力融为一体的综合性课程，对培养学生工程素养、创新思维能力和解决复杂问题能力具有重要意义[16-18]。该研究以皖西学院园林专业开设的“园林制图”课程为例，对课程

收稿日期：2022-05-08

基金项目：安徽省新农科研究与改革实践项目(202060)、安徽省省级精品线下开放课程项目(2018kfk124)、省级教学示范课项目(2020SJJXSFK2486)和安徽省教育厅高校自然科学重点项目(KJ2018A0421)。

作者简介：朱旺生(1973-)，男，汉族，副教授，博士，主要从事园林专业教学与科研研究。

的教学目标、教学内容、教学方法及考核方式进行改革探研,以探索园林专业农工学科交叉融合的一流本科课程建设方案。

1 传统园林制图课程存在的主要问题

在过去乃至当前相当长一段时间,画法几何与工程制图或工程制图或园林制图等课程是我国高校园林专业普遍开设的主要园林制图类课程[19-20]。这些园林制图类课程授课教师大多非园林专业科班出身,课程教学目标、教学内容设置方面也过于偏重工科专业的制图技能培养,而对农林专业中的农林要素在园林制图中的表达重视不够,没有充分考虑园林专业农工交融学科特点。另一方面,随着信息技术和教育学本身规律的发展,园林制图课程在教学方法、教学考核等方面也不足以适应新时代一流课程建设要求,急需改革[21]。基于此,近年来国内多所院校教师对园林专业园林制图课程教学改革进行了积极探讨。以皖西学院园林制图课程为例,经过认真梳理分析,发现新农科建设背景下该课程在教学目标、教学内容体系,教学方法和教学考核等方面距"两性一度"的"金课"标准,即"高阶性""创新性"和"挑战度"等指标方面尚存在以下问题。

1.1 课程教学目标设置没有体现新农科背景下园林专业人才培养需求特点

课程教学目标是授课教师依据学科特点、经济社会需求及专业人才培养定位编写的课程教学总纲,有利于教师明确本课程教学所需要达到的总体教学效果[22]。皖西学院园林专业园林制图课程教学目标在很长一段时间内把重点放在培养学生识图、读图、绘图和制图等工程制图的技能培养方面,能够很好地把工程制图知识体系讲解清楚。但是,这样的课程教学目标设置没有把园林专业学科特点凸显出来,园林专业农林要素制图表达方面凸显不够,也没有体现出新时代新农科背景下园林专业农工交融复合型人才培养特点。检视课程教学目标,其在结合园林学科特点、社会经济发展需求及人才培养定位方面尚需改进。

1.2 课程教学内容体系"高阶性、挑战度"不足

课程教学内容体系是教学目标的直接体现。围绕教学目标,课程教学内容体系的安排关系到人才培养规格定位,关系到学生知识、能力和素质的有机融合,关系到学生解决复杂问题的综合能力和高级思维培养。教育部指出,一流本科课程要培养学生的综合能力和高级思维,要有一定的难度,需要跳一跳才能够得着,对授课教师备课和学生课下均应有较高的要求[3, 23]。统计市场上现有出版的园林制图类教材,分析其教学内容体系,其知识点主要集中在"制图基本规范、三视图、基本形体和组合体、轴测图、透视图等方面。这些教学内容体系安排多偏重工科专业的工程制图知识体系,在农工学科交叉融合方面不够,没有体现新农科背景下复合型人才培养需求特点,一流课程"高阶性"体现不够。另一方面,课程教学内容不够深入,知识难度不大,没有"挑战度"。这主要体现在两方面:一是对学生的学习投入要求不高,对学生完成课程学习的难度、需要投入的精力和努力程度要求不够,没有学业挑战度;二是对教师的授课准备和授课质量要求不高,对教师备课投入的时间、精力没有相应的管理制度要求,对教师授课知识的拓展深度也没有硬性规定,授课没有挑战度。

1.3 课程教学方法手段和教学考核方式"创新性"不够

多年来,皖西学院园林制图课程教学主要采用传统线下课堂教学方式教学,教师是教学过程的主体,课堂上师生互动偏少,学生主动参与教学活动不足,只是被动的听讲。信息技术和智慧教学手段等新技术新方法运用不够,没有充分调动学生自主学习积极性。在课程教学考核形式上,手段比较单一,主要采用平时成绩和期末考试成绩进行考核,没有创新考核方式,没有注重教学过程考核。这就导致有些学生平时不努力,期末考试前突击复习,抱着"临阵磨枪"的想法,虽然考试也能过关,但知识掌握不牢固,遗忘率较高,与一流本科课程建设要求相距甚远。因此,检视课程现有教学方法和教学考核手段,其在教学方法先进性和互动性、教学结果考核探究性和个性化方面明显不够,"创新性"不足。

2 新农科背景下园林制图课程改革具体方案

皖西学院是一所地方性、应用型本科高校,园林

专业人才培养定位是充分利用我校多学科、多专业优势,与地理科学、建筑学等学科专业交叉融合,以“具有农科基础、工程素养”的园林行业应用型兼具创新性的复合型人才培养为目标。围绕这一目标,结合新农科背景下一流本科课程建设需要,园林制图课程积极进行教学改革,调整课程教学目标,凸显新农科背景下农工交融复合型园林专业人才培养需求特点,改革课程教学内容体系,提升课程教学内容 “高阶性和挑战度”,改革课程教学方法和考核手段,提升“创新性”。

2.1 调整课程教学目标,培养复合型农林人才

一流课程建设强调要根据不同层次学校类型,建设聚焦新工科、新农科等体现多学科思维融合的适合本校人才培养特点的课程[24, 25]。针对一流课程建设要求,园林制图课程立足于我校办学定位和园林专业人才培养目标,结合新时代经济社会发展需要和园林行业人才需求特点,围绕“两性一度”,积极调整课程教学目标。主要体现在以下三方面:一是调整课程教学的知识目标,强调知识的学科交叉性、前沿性和知识深度,要求学生夯实工程制图的基本理论知识,掌握园林地形、建筑、植物和道路要素表达方法,理解常用计算机辅助制图软件特点和发展趋势,具备解决复杂农林问题的综合知识。二是调整课程教学的能力培养目标,强调对知识不能仅仅停留在识读、记忆等初级能力阶段,要上升到综合运用所学知识分析、解决问题的高级能力阶段,培养学生良好的空间逻辑思维和形象思维能力,培养学生绘制和阅读复杂园林综合图样能力, 培养学生解决复杂农林实际问题的综合能力。三是调整课程教学的素质培养目标,强调通过激发学生自主学习兴趣和挑战困难的勇气、毅力, 养成严谨、细致的绘图习惯,培养学生自主学习的能力和专注坚持的“工匠”精神,使学生成为具有良好工作作风的园林行业复合应用型人才。为更好地体现课程教学目标属性,结合教育部 2018 年颁布的《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》园林专业课程设置相关要求,后期课程名称拟改为制图基础与园林制图。

2.2 改革课程教学内容体系

2.2.1 凸显综合能力,重构课程理论知识体系

新农科背景下,应用型高等学校农林专业一流课程建设要紧扣新时代新农科对课程改革的要求,为农业农村发展和乡村振兴培养一大批具有扎实专业知识和解决复杂问题能力的应用型人才[2, 26]。研究新时代社会经济发展对园林行业应用型人才培养需求特点,园林制图课程主要从两方面改革课程理论知识体系,以提升园林专业学生综合能力。一是从一流课程“高阶性” 方面, 兼顾工科类专业工程制图的基础知识, 又考虑园林专业学科和课程主干知识体系特点,同时还结合现代计算机制图发展趋势,构建农工交融复合型人才培养的课程理论知识体系框架(图 1)。二是从“挑战度”方面,强化课程理论知识的深度和广度。在课程理论知识体系框架基础上,拓展不同知识单元节点知识深度,分析原理,做到不仅知其然,还知其所以然。例如,在园林地形要素表达章节,在讲解园林典型地形地貌等高线表达方法时,还拓展复杂地形地貌等高线表达要领,并深层次分析其应用原理。同时,还结合园林地形地貌生态敏感性分析案例,深入讲解园林地形地貌表达的坡度法、密度法应用。

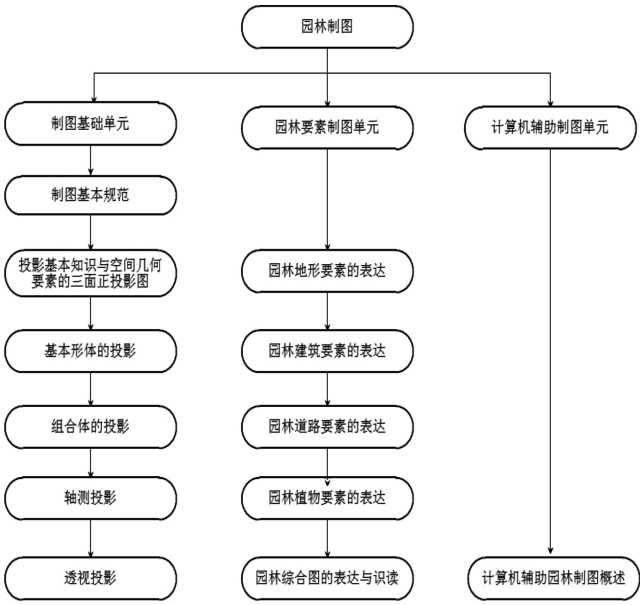


图 1 课程理论知识体系

Fig.1 Theoretical knowledge system of curriculum

2.2.2 注重动手能力,强化实践教学体系

皖西学院的定位是地方性、应用型高水平大学,园林专业的人才培养目标是培养高级应用型人才。学生动手能力是应用型人才培养质量的重要评价指标。园林制图课程以培养学生解决复杂问题的高级思维和动手能力为重要目标,基于一流课程的“高阶性”和

“挑战度”标准,将知识、能力和素质融入实践教学,在课程实践教学项目设置上综合考虑难度和深度,多层次、立体化优化实践教学体系。首先,加大课程实践教学项目的改革,不断提高综合性设计性项目的比例。例如,2018 级园林专业实践教学大纲中综合性设计性项目只有 2 个,2021 级增加到 4 个,综合性设计性项目比例增加了 25%。其次,依托我院地理学省级重点学科、农业工程设计校级科技平台以及校内校外创新实践基地项目,让学生参与到工程设计实践中,强化学生解决面临复杂问题的综合图样表达能力。第三,依托我校和省级园林模型制作大赛,园林规划设计大赛、GIS 制图大赛以及研究性学习、大创项目等形式丰富多样的专业活动,不断强化学生理论联系实际和解决实际问题的能力。

2.3 改革课程教学方法,采用线上线下混合式教学

信息技术和智慧教学工具是改革课程教学方法,创新课程教学教法的有效手段。线上线下教学运用智慧教学工具及网络信息技术创新,是一流课程改革教学方法的必然[4, 27]。为加强园林制图课程教学效果,笔者充分运用超星学习通等智慧教学工具和信息化技术,开展线上线下混合式教学改革,提升学生自主学习能力。线上教学完善园林制图课程网站,上传课程教学大纲、教学知识单元和知识点、电子教材、网络课件、视频、试题库、系列参考书等网络教学素材和资料。定时发布线上教学任务,包括教学目标、教学视频、小测验、思考题等,要求学生按时完成。督促学生课前在线上预习、自主学习,课后巩固复习。线下课堂教学注重对传统教学模式进行改革,充分利用视频、动画、模型等多媒体资源媒介,加强师生互动。应用超星学习通等智慧教学工具,采用分组讨论、投屏互动、抢答加分、组别竞争的互动体验形式,尝试项目式、专题式等新的课堂教学模式。通过线上线下混合式教学改革,园林制图课程已基本实现向以学生为中心的教学模式转变,有效提升了课程教学质量。

2.4 注重课程教学过程考核,形成性和总结性评价相结合

课程改革前教学考核方式相对单一,未注重教学过程考核。课程期末成绩主要由平时成绩(30%)+ 期末考试成绩(70%)构成。这种评价方式常常导致有些学生平时不按要求预习,对项目、作业等任务不按时提交,仅仅在期末考试来临前进行突击复习,使得他们对课程工程制图模块的基本知识和园林要素制图模块的基本技能均掌握不够扎实。为了对学生课程学习情况进行准确评价,提升学生知识、素质和能力,园林制图课程主动进行教学考核方式改革,创新考核方法。在教学过程中采取形成性评价与总结性评价相结合的方式进行课程教学考核。提高平时学习过程考核成绩比例,平时和期末各占 50%。平时学习过程考核包括考勤(5%)、课前预习(5%)、课堂提问(5%)、课堂小组竞赛(10%)、小组专题讲座竞赛(10%)、个人抢答(5%)和实训作业(10%)等 7 个维度进行形成性评价;期末考试(50%)对学生进行总结性评价。形成性和总结性评价相结合的综合评价方法评定学生的学习成绩,不仅检查了学生的学习准备情况和学习效果,也为教师的教学效果提供了及时反馈。

3 课程教学改革成效

一流本科课程建设是一个长期、系统的工程,笔者及团队在课程的教学过程中,本着以“学生为中心”的理念,尝试将探索性思维模式、创新性思维模式以及实践能力等多方面的能力培养渗透到课程日常的教学活动中。通过对课程教学目标、教学内容、教学方法和教学考核手段进行改革,使学生不仅可以系统掌握课程理论知识,还具备较好的专业动手技能,有效提高了学生综合能力和素质。

3.1 对学生课程理论知识学习的促进作用

皖西学院从 2019 年开始逐步推进园林制图课程改革,通过对比 2018 级和 2021 级园林专业两个班级的理论课考试成绩,成效显著。一方面,两个年级的理论课成绩均呈现正态分布,但课程改革后的成绩出现了明显的偏移,向高分区域集中(图 2);另一方面,学生平均成绩相比未改革前有不同程度的提升,平均分提高了 28.6%,且 60 分以下的学生人数为 0。此外,课程改革后学生理论知识学习的积极性和主动性明显提高,学习成效明显。统计 2019–2021 级园林专业三个年级学生的课程网站自主学习情况,课件平均点击率达 98.6%,比 2018 级提高 8.2%;课后作业题、单元复

习题正确率达 95.7%，比 2018 级提高 4.8%。由此可见，课程教学改革的实施有效提高了学生对课程理论知识的掌握。

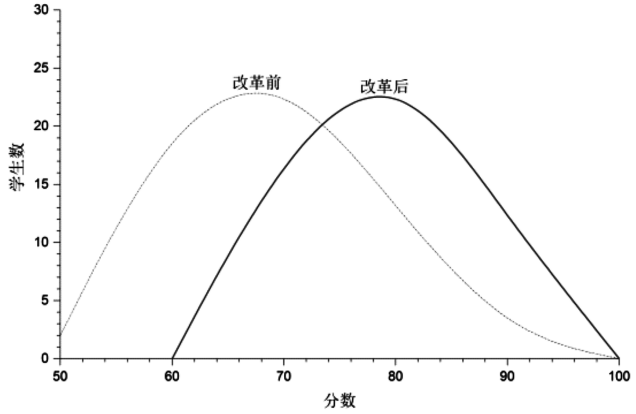


图 2 课程改革前后学生成绩分布图

Fig.2 Score distribution of student before and after the curriculum reformation

3.2 对学生专业动手技能培养的促进作用

通过改革，能够在一定程度上提高学生绘图的熟练程度。在相同任务情况下，学生的整体绘图操作完成时间提前 6%–8%。同时，学生绘图综合技能也明显提高，在各类制图技能大赛中成绩突出。近 3 年，我校园林专业学生在各类制图大赛和综合设计大赛中累计获得省级以上奖励 30 余项。

4 结语

乡村振兴战略为农林高校提供了新的舞台，新农科建设为农林高校指明了新的发展方向[28–29]。“创新性”、“高阶性”和“挑战度”是一流课程的基本属性，其内涵丰富且相互交织、互相支撑、互为前提，只有进行综合改革才能切实提升园林制图课程“两性一度”，才能为农工交融复合型园林人才培养奠定良好的专业基础。本文以新农科背景下一流课程建设为目标，针对“两性一度”金课建设标准，提出了园林制图一流课程改革方案，取得了良好的改革效果。学生给本门课程的评价为：知识体系设置合理，有效提升学生制图技能素养，对学生未来从事园林设计制图及工程读图识图夯实了基础。同行专家认为：该课程能反映学科发展的新思想、新成果，教学有特色，线上线下混合式翻转课堂教学，能有效调动学生积极性，引导学生主动学习，教学效果显著。学校教务处和省教育厅对本课程验收考核结果为优秀。本研究成果可为新农科背景下同类本科院校园林专业复合应用型人才培养课程改革提供一定的借鉴与参考。

参考文献:

[1] 李长春, 李国元, 姜益泉, 等. 应用型高校面向新农科的实践教学体系构建初探 [J]. 湖北工程学院学报, 2021, 41(3): 77–85.

[2] 郭辉, 宋雅迪, 王晓冰, 等. 新农科背景下应用型高校园林专业人才的培养:以新乡学院为例[J]. 新乡学院学报,2021,38(6): 68–72.

[3] 涂健, 宋祥军, 邵 颖, 等. 动物病理学从精品课程向一流课程发展的路径与实践[J]. 生物学杂志, 2021,38(5): 120–122.

[4] 贾海蓉, 张雪英, 徐野威, 等. 建设线上线下一流课程的方案：以“语言信号处理”课程的改革为例[J]. 系统科学学报, 2022,31(1): 50–53.

[5] 姜艳, 王笑峰, 孟凡香. 水利类专业一流本科课程建设:以“结构力学”课程为例 [J]. 黑龙江教育, 2022(2): 27–35.

[6] 谢开云, 靳瑰丽, 孙宗玖, 等. 新农科背景下草业科学专业人才培养体系的构建与优化:以新疆农业大学为例 [J]. 草业科学, 2020, 37(8): 1656–1667.

[7] 乐祥鹏, 李发弟. 新农科背景下草业科学专业动物生产类课程建设及教学实践：以兰州大学为例[J]. 草业科学, 2020, 37(11): 2382–2389.

[8] 姚立蓉, 汪军成, 司二静, 等. 新农科背景下雨课堂混合式教学模式探究:以“植物生物技术”为例[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2021, 37(5): 100–102.

[9] 周艳飞, 李学俊, 朱春梅. 新农科背景下基于全产业链复合应用型人才培养的实践与思考:以云南农业大学农学专业(热带作物方向)人才培养为例[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2021, 15(4): 165–170.

[10] 张兰兰. 新农科背景下涉农高校学生 “知农爱农为农”情怀教育的路径与机制:以信阳农林学院为例[J]. 信阳农林学院学报, 2020, 30(3): 154–160.

[11] 王林林, 李玲玲, 谢军红. 新农科背景下农业生态学教学改革与思考 [J]. 榆林学院学报, 2021, 31(4): 107–115.

[12] 王小龙. 新农科背景下农科大学生就业质量提升路径研究 [J]. 扬州大学学报(高教研究版), 2021, 25(2): 85–90.

[13] 戴庆敏, 吕耀平, 徐传保, 等. 新农科背景下园林专业实践教学体系的构建:基于全产业链视角[J]. 丽水学院学报, 2021, 43(4): 84–91.

[14] 王晓龙. 新农科背景下农科大学生就业质量提升路径研究 [J]. 扬州大学学报, 2021, 25(2): 85-90.
[15] 石玉涛, 郑淑琳, 王飞权, 等. 新农科建设背景下"茶叶生物化学"课程教学改革探索[J]. 武夷学院学报, 2020, 39(12): 62-67.
[16] 连彩元. 新工科背景下非机类"工程制图及 CAD"课程教学实践 [J]. 福建师大福清分校学报, 2021, 39(2): 219-224.
[17] 于晓丹, 陈鸿飞, 姚芳萍. 画法几何及工程制图与 AutoCAD 教学的探索[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版), 2021, 23(4): 111-114.
[18] 吴丹, 张智聪. BIM 技术下工程制图课程的翻转课堂教学模式构建 [J]. 文山学院学报, 2020, 33(6): 89-93.
[19] 杨波, 高婷, 褚晓蕾. 园林制图线上线下混合式 "金课"建设:以吉林农业科技学院为例[J]. 吉林农业科技学院学报, 2020, 29(6): 89-94.
[20] 马晓燕, 冯丽, 刘媛. 基于学生能力培养的 "园林制图"课学探索与实践:以北京农学院为例[J]. 河北农业大学学报, 2017, 19(4): 70-77.
[21] 高志红, 陈晓远. 园林工程制图课程教学改革与实践 [J]. 韶关学院学报, 2017, 38(8): 74-80.
[22] 祝薇, 郭丽青, 黎伟标. 一流大学背景下大气科学专业课程改革探研[J]. 高教探索, 2015(1): 87-95.
[23] 余大品. 化学化工类一流课程建设现状:批国家级一流本科课程的研究 [J]. 化学教育, 2022, 43(2): 114-122.
[24] 戴庆敏, 吕耀平, 徐传保, 等. 新农科背景下园林专业实践教学体系的构建:基于全产业链视角[J]. 丽水学院学报, 2021, 43(4): 84-91.
[25] 应义斌, 梅亚明. 中国高等农业教育新农科建设的若干思考 [J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(1): 1-6.
[26] 秦逊. 新农科背景下地方农林院校专业建设的探索:以安徽农业大学为例[J]. 吉林广播电视大学学报, 2020(7): 59-60.
[27] 鞠玉亮, 潘月敏, 谭根甲, 等. 新农科背景下植物线虫学教学改革路径与实践[J]. 合肥师范学院学报, 2020, 38(6): 58-60,132.
[28] 刘京国. 乡村振兴背景下复合应用型农林人才培养的研究与实践[J]. 北京教育, 2022(2): 68-70.
[29] 尹云厚, 王建发. 新农科建设背景下动物医学类专业虚拟仿真实验教学体系构建策略[J].吉林农业科技学院学报, 2021, 30(1): 77-80.

Research on the Construction Program of First-Class Undergraduate Curriculum in Landscape Architecture Under the Background of New Agricultural Science

——Taking the reformation of the curriculum of "landscape graphics" as an example

ZHU Wangsheng

(School of Environment and Tourism, West Anhui University, Lu'an, Anhui 237012)

Abstract: The construction of new agricultural science has put forward new requirements for the cultivation of compound agricultural and forestry talents, and the construction of first-class curriculum is an important grasp to improve the quality of training talents in agriculture and forestry. The teaching reform of the curriculum of landscape graphics is used as an example. The analysis of the main problems of the traditional landscape graphics curriculum shows that the teaching objectives are not set to reflect the characteristics of talent training under the background of the new agricultural science. The teaching content system of the curriculum is not advanced and challenging enough. The teaching methods and means of curriculum and teaching assessment ways are innovative. Given the above problems, a specific plan for the construction of first-class undergraduate curriculum in landscape graphics under the background of new agricultural science is proposed from five aspects. Teaching objectives of curriculum knowledge, competence and quality are adjusted to cultivate composite agricultural and forestry talents. The comprehensive ability is highlighted and the theoretical knowledge system of the curriculum is reconstructed. The practical ability is emphasized and the practical teaching system is strengthened. The curriculum teaching method is reformed and online and offline mixed teaching is adopted. The teaching process assessment of the curriculum is emphasized and the formative and summative evaluations are combined. The reform plan of the landscape graphics curriculum will lay of this program will lay a good professional foundation for cultivating compound talents of agro-industrial integration in landscape architecture.

Key words: new agricultural science; landscape graphics; first-class curriculum; teaching reform

(责任编辑:叶丽娜)

JOURNAL OF WUYI UNIVERSITY

No.9 Vol.42, Sept., 2023

Inertial Two-sweep Iteration for Absolute Value Equations Associated with Second Order Cones
…… HONG Xiaoman, TANG Jia(1)
UAV 3D Path Planning Based on Random Opposition-based Learning Honey Badger Algorithm
…… WEN Changsheng, JIA Heming*, RAO Honghua, WANG Zhuo, SU Yuanyuan(7)
Ethereum Based Social Network Platform Design Scheme
…… WANG Hua, DAI Jiancheng, XU Li(14)
Analysis of Physiological Changes During Leaf Water Loss of Seven Tea Species
…… HUANG Wei, LI Jing, YAN Zhaojun, LI Yanyan(23)
Effect of Different Treatmeats on Chlorophyll Fluorescence Paramexers and Growth of Camellia Sinensis "Rougui" Seedlings …… SHI Qiumei, YIN Chuanhua, CHEN Jiawei, CHEN Yongan(30)
Genetic Variation and Primary Selection of Growth Traits of Free Pollinating Family Young Forests of *Lindera Communis* Hemsl …… XU Qingli(37)
Isolation and Identification of Pathogens Causing Leaf Spot on *Stromanthe sanguinea* Triostar
…… ZHANG Xuyue, SONG Yunzhe, LI Yueyue, NIE Chuanpeng, LI Yanyan, CAI Pumo(44)
Grain Size Composition of Sediment from Guting Reservoir in Wufu Town and Its Response to Climate
…… YE Hongmeng, LI Qingyu, HUA Weiping, SU Liman, ZUO Bangrui, CHEN Ling, LIN Jiangling(48)
Application of Modified PEI Membrane by Recycled PET in Oil-Water Separation
…… MAO Zhujian, LIAO Xialu, LUO Yunhong, RAU Juiyeh(53)
Innovative Experimental Design of ZnO Nano-films
…… YANG Weijia,LI Zhijie,GUAN Zeyi,YANG Jiesen,ZHOU Zhimin,YANG Zhenzhan,SHEN Dongling(59)
Design of a Welding Fixture for Trash Bin Rear Skeleton …… ZHONG Guojian, LAI Guiguang(65)
Prediction Model of Maximum Axial Force of Soil Nail Based on Neural Network
…… ZHUO Wei Song, QUE Yun, WANG Rong, HUANG Rui(69)
Nondestructive Testing Method of Furniture Wood Based on Fourier Transform Infrared Spectroscopy
…… CHEN Yan(75)
Survey of Indoor Location Technologies for RFID …… HUANG Fengying(81)
An Study of Herd Behavior for Investors on Real Estate Market …… LIU Jin'e, HE Siyu(88)
Exploration and Practice of 1+x Certificate in Applied Undergraduate Colleges
——Taking "Protected Vegetable Production" of Wuyi University as an example
…… NIE Chuanpeng, GAO Xue, WANG Guiying, LI Yanyan(95)
Research on the New Training Path of "1357" Biotechnology Engineering Talents Under the Background of Rural Revitalization …… YAN Shufeng, ZHANG Jianhan, ZHANG Juncheng(100)
Research on the Construction Program of First-Class Undergraduate Curriculum in Landscape Architecture Under the Background of New Agricultural Science
——Taking the reformation of the curriculum of "landscape graphics" as an example
…… ZHU Wangsheng(104)