

稻谷深床干燥发芽率模型建立及影响因素

王丹阳¹, 李成华^{2*}, 张本华¹, 马 荐¹, 金宏亮¹

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161; 2. 沈阳理工大学机械工程学院, 沈阳 110168)

摘 要: 为了提高稻谷种子干燥品质, 并解决已有稻谷干燥发芽率预测模型应用的局限性, 利用深床干燥试验台进行水稻干燥二次回归正交旋转组合试验, 构建并验证了稻谷固定深床干燥发芽率一阶动力预测模型, 确定并优化模型参数为待定常数 $Z_1=0.06011$, 待定常数 $Z_2=0.02558$, 胚蛋白变性活化能 $E=194.18333$, 经检验模型预测误差平方和为 0.48358, 具有较高的预测精度。建立了试验因子与发芽率间关系的回归数学模型, 分析了各因素对发芽率的影响规律, 利用贡献率法确定了各因素对发芽率影响的主次关系。比较两类模型并利用频数分析法进行了干燥工艺参数优化, 给出了发芽率具有 95% 概率高于 90% 的参数范围, 为种稻干燥生产和干燥设备的参数设计提供参考。

关键词: 干燥模型, 回归分析, 稻谷种子, 发芽率, 固定深床

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.048

中图分类号: S511, S226.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0266-05

王丹阳, 李成华, 张本华, 等. 稻谷深床干燥发芽率模型建立及影响因素[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 266—270.
Wang Danyang, Li Chenghua, Zhang Benhua, et al. Development of germinating rate model and influencing parameters for paddy rice drying in a deep fixed-bed[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 266—270. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

发芽率是评价稻谷种子收获后干燥的重要指标之一, 它对稻谷种子的质量有着重要的影响^[1-6]。为实现水稻种子干燥前预测发芽率, 有必要建立精度较高的发芽率预测模型并进行干燥工艺参数的调控。朱文学等人在对大豆、小麦、玉米及稻谷进行干燥试验的基础上, 基于一阶反应动力方程和 Arrhenius 方程建立了种子干燥后发芽率预测模型, 并进行了试验验证^[7-9]。但稻谷发芽率的预测模型参数是在试验因子较少的横流干燥条件下得到的, 使得该模型在条件因子拓展情况下的应用受到局限。针对稻谷固定深床干燥, 采用多因子二次回归正交旋转试验建立稻谷干燥后发芽率预测回归模型并与稻谷发芽率一阶动力模型进行比较, 分析各试验因子对发芽率的影响, 为提高种稻干燥后的发芽率提供理论基础和干燥工艺参数具有重要的实际应用价值。

1 试 验

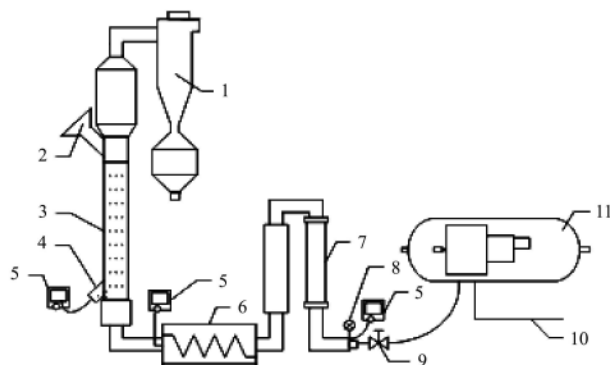
1.1 材料

试验所用稻谷品种为辽宁主产稻辽粳 294。由烘箱法测得稻谷原始含水率为 12%~14% (湿基)。试验前 48 h 将稻谷按各试验要求调制到要求水分后, 用双层塑料袋密封, 每隔 3~4 h 翻动一次, 以保证谷温与环境温度一

致及其水分的平衡。试验时取样, 用烘箱法测定稻谷试验前含水率。

1.2 方法

试验于 2008 年 4 月在沈阳农业大学工程学院干燥实验室进行。环境温度 15~23℃, 相对湿度 54%~72%。试验在单因素试验基础上确定试验因子 (稻谷原始含水率 W 、谷层厚度 h 、热风温度 T 、表现风速 V 和缓苏时间 t_e) 的试验范围, 利用深床干燥试验台进行五因子 (1/2 实施) 二次回归正交旋转组合试验^[10]。所用试验台结构如图 1。



1. 旋风分离器 2. 装料口 3. 干燥筒 4. 卸料口 5. 数显温度仪 6. 空气加热器 7. 浮子流量计 8. 压力表 9. 控制阀门 10. 稳压排气管 11. 空气压缩机

图 1 干燥试验台结构

Fig.1 Structure of drying test bed

试验时, 启动空气压缩机, 来自压缩机储气罐稳定气压的气流经控制阀和空气流量计, 由加热器对其进行加热后输送到干燥筒, 对其中的稻谷进行热风干燥。试验过程中, 每隔一定时间, 用专用取样器和热电偶测量各层共 15 个测点的稻谷风温及含水率, 直至干燥筒顶层

收稿日期: 2008-08-10 修订日期: 2009-04-28

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目 (20052121)

作者简介: 王丹阳, 博士生, 从事农业机械化研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110161。Email: danyang7864@sina.com

*通信作者: 李成华 (1958—), 博士, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会会员 (E041200032S), 从事农业机械化研究。沈阳市浑南新区南屏中路 6 号 沈阳理工大学机械工程学院, 110168。Email: lch@syau.edu.cn, lch@mail.sylu.edu.cn

稻谷含水率低于 14%（湿基，停机时稻谷实际含水率与理论停机标准之差 $\Delta_w<0.2\%$ ）停止试验。试验因素水平编码如表 1^[11]。

表 1 因素水平编码表
Table 1 Coding of factor level

x_j 水平 编码	X_1 热风温度 /℃	X_2 表现风速 /m·s ⁻¹	X_3 谷层厚度 /cm	X_4 初始含水率 /%	X_5 缓苏时间 /h
+2	85	1.20	60	28	6
+1	75	1.01	50	25	4.5
0	65	0.83	40	22	3
-1	55	0.64	30	19	1.5
-2	45	0.45	20	16	0

1.3 发芽率的测定

试验前随机取稻 500 粒，在 30℃水中浸泡 30 min 后分 5 组放入底部盛有湿棉纱的培养皿中，上部用湿棉纱覆盖，置于 20~25℃发芽环境，每天用清水过滤一次，7 d 后测各组发芽率，取其均值为稻谷初始发芽率 $G_0=97.5\%$ ，试验后于不同干燥层随机取稻谷按同样方法测定稻谷干燥后发芽率 G 。

2 发芽率动力模型的建立

试验研究表明种胚具有活性是种子发芽的生理基础，但种胚蛋白的热变性易使其在干燥升温过程中丧失活力而导致种子不能发芽^[12-13]。不同种子的胚具有不同的活性，稻谷胚蛋白的热变性服从一阶反应动力方程^[7]：

$$-\frac{dG}{dt} = KG \tag{1}$$

式中： G ——发芽率，%； t ——干燥时间，min； K ——动力常数（反应物为单位分压或浓度时的反应速度），min⁻¹。

Arrhenius 方程给出种子干燥的动力常数^[14]：

$$K = \exp\left(-\frac{E}{RT_s} + \ln Z\right) \tag{2}$$

式中： E ——胚蛋白变性活化能，kJ·mol⁻¹； T_s ——种子温度，K； R ——通用气体常数，8.314 kJ·(mol·K)⁻¹； Z ——碰撞因子； $\ln Z$ ——种子含水率对发芽率的影响： $\ln Z = Z_1 + Z_2W$ 。其中 Z_1 ， Z_2 为待定常数； W ——种子含水率（干基）。

由此，可建立种子发芽率动力预测模型^[8]：

$$\frac{G}{G_0} = \exp\left\{-\exp\left[\left(-\frac{E}{RT_s} + Z_1 + Z_2W\right)t\right]\right\} \tag{3}$$

3 结果与分析

3.1 模型参数的求解

根据五因子二次回归正交旋转组合试验结果和发芽率指标的实测数据，利用 Matlab 得出方程待定常数 Z_1 、 Z_2 和 E 的 13 组较优解。依次对每组解进行 33 次试验数据验证，获得一组泛化能力较强的动力模型参数，设为数组 1。对数组 1 进行优化得数组 2。两组参数（见表 2）下的一阶动力模型的预测值与试验测定值如表 3 和图 2 所示。预测误差

平方和分别为 0.50484（数组 1）和 0.48358（数组 2）。

表 2 一阶动力模型参数
Table 2 Parameters of first-order dynamic model

	Z_1	Z_2	E
文献[1]	119.5	14.1	84791.3
文献[2]	119.5	18.8	354.4
数组 1	0.0601128698	0.0255830241	194.1830973211
数组 2	0.0601129499	0.0255830463	194.1833319424

表 3 一阶动力模型预测值的对比

Table 3 Comparison between measured and predicted value of first-order dynamic model

数据 号	T /℃	V /m·s ⁻¹	h /cm	W /%	t_e /h	测定 值	数组 1 预测值	数组 2 预测值
1	75	1.01	50	25	4.5	0.87	0.76	0.78
2	75	1.01	50	19	1.5	0.90	0.78	0.80
3	75	1.01	30	25	1.5	0.60	0.60	0.62
4	75	1.01	30	19	4.5	0.61	0.61	0.62
5	75	0.64	50	25	1.5	0.66	0.66	0.68
6	75	0.64	50	19	4.5	0.67	0.84	0.86
7	75	0.64	30	25	4.5	0.73	0.58	0.59
8	75	0.64	30	19	1.5	0.89	0.57	0.58
9	55	1.01	50	25	1.5	0.80	0.86	0.88
10	55	1.01	50	19	4.5	0.94	0.89	0.92
11	55	1.01	30	25	4.5	0.94	0.76	0.78
12	55	1.01	30	19	1.5	0.97	0.71	0.72
13	55	0.64	50	25	4.5	0.90	0.91	0.93
14	55	0.64	50	19	1.5	0.94	0.95	0.97
15	55	0.64	30	25	1.5	0.95	0.75	0.76
16	55	0.64	30	19	4.5	0.96	0.74	0.75
17	85	0.83	40	22	3.0	0.86	0.70	0.72
18	45	0.83	40	22	3.0	0.97	0.96	0.99
19	65	1.20	40	22	3.0	0.88	0.83	0.85
20	65	0.45	40	22	3.0	0.82	0.92	0.94
21	65	0.83	60	22	3.0	0.85	0.96	0.98
22	65	0.83	20	22	3.0	0.71	0.56	0.57
23	65	0.83	40	28	3.0	0.64	0.78	0.80
24	45	0.83	40	16	3.0	0.73	0.74	0.76
25	65	0.83	40	22	6.0	0.80	0.82	0.85
26	65	0.83	40	22	0.0	0.85	0.80	0.83
27	65	0.83	40	22	3.0	0.73	0.88	0.90
28	65	0.83	40	22	3.0	0.88	0.88	0.90
29	65	0.83	40	22	3.0	0.80	0.87	0.89
30	65	0.83	40	22	3.0	0.90	0.88	0.90
31	65	0.83	40	22	3.0	0.86	0.86	0.88
32	65	0.83	40	22	3.0	0.82	0.87	0.89
33	65	0.83	40	22	3.0	0.88	0.82	0.84
34	65	0.83	40	22	3.0	0.89	0.87	0.89
35	65	0.83	40	22	3.0	0.81	0.85	0.87
36	65	0.83	40	22	3.0	0.85	0.84	0.86

根据模型可以模拟发芽率随干燥时间、稻谷含水率和受热温度的变化规律，并分析其他工艺参数对发芽率的影响规律。如随机抽取 3、4、5 号试验数据检验，其发芽率随稻谷受热温度的变化如图 3 所示。各试验条件下的稻谷发芽率均随稻谷受热温度的提高而有不同程度的下降；低含水率的稻谷发芽率随受热温度的提高下降速度较慢；低风速下稻谷发芽率随风温基本呈线性负相关；高谷层厚度下稻谷在相对较低的受热温度下干燥，

发芽率较高。

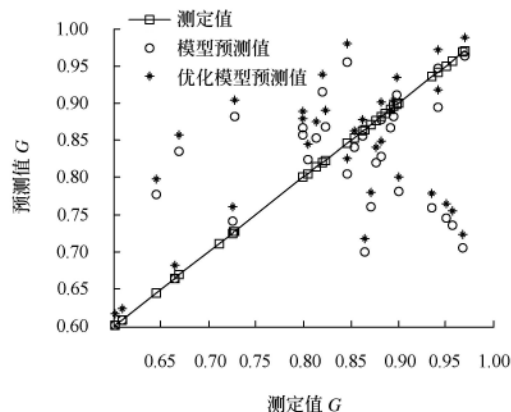


图 2 一阶动力模型预测值与测定值的关系

Fig.2 Relationship between observed and predicted value of first-order dynamic model

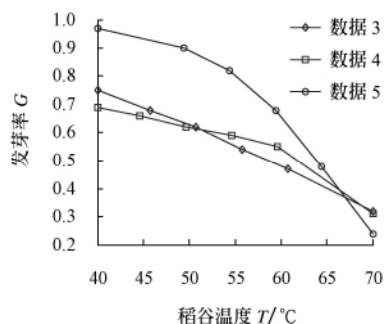


图 3 稻谷温度对发芽率的影响

Fig.3 Impact of paddy temperature on germinating rate

文献[7]和文献[15]给出稻谷薄层测温条件下一阶动力模型的待定参数。为与深床干燥相比较，一并列于表 2 中，旨在研究稻谷发芽率动力模型提供参考^[7,15]。

3.2 回归模型的建立

根据二次回归正交旋转设计的 36 组试验所得稻谷发芽率的测量结果，建立发芽率与影响因素间关系在编码空间的回归方程，对方程进行方差分析，结果表明方程拟合较好且显著 ($\alpha=0.1$)。对回归系数进行显著性检验后剔除不显著的因素，得编码空间内的回归方程为：

$$G=0.8407-0.0711X_1-0.0244X_4+0.0319X_1X_3+0.0466X_2X_3+0.0584X_4X_5+0.0248X_1^2-0.0352X_4^2 \quad (4)$$

由回归方程得到的预测值与测定值的关系如图 4 所示，回归方程具有较高的预测精度。

3.3 试验因素对发芽率影响分析

1) 因素主次关系分析 采用贡献率法对各试验因素的重要性进行贡献率计算，得各因素的贡献率分别为 $\Delta_1=4.6925$ ， $\Delta_2=0.5649$ ， $\Delta_3=1.1946$ ， $\Delta_4=2.1168$ ， $\Delta_5=0.6483$ ，可知各因素对发芽率的影响为：热风温度 > 初始含水率 > 谷层厚度 > 缓苏时间 > 表现风速。

2) 双因素分析 试验所用 5 个因素中不同的两因素组合对发芽率的影响如图 5~7 所示，其中固定因素的编码水平为 $x_j=0$ 。

图 5 表明，温度低于 0 水平时，稻谷发芽率要普遍

比温度高于 0 水平时高；温度高于 0 水平时，高温高谷层厚度有较高的发芽率，与一阶动力模型分析一致。而高温低谷层厚度会导致稻谷发芽率明显降低。

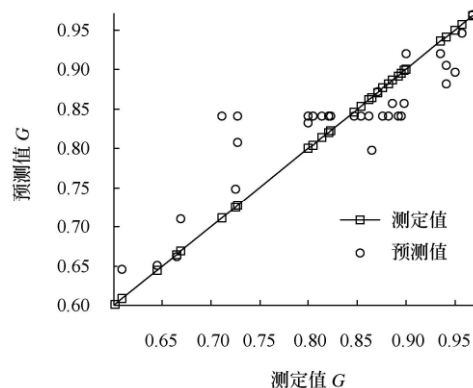


图 4 回归方程预测值与测定值的关系

Fig.4 Relationship between predicted and observed value of regression equation

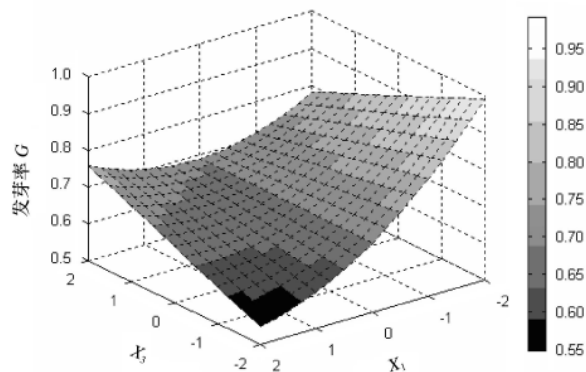


图 5 热风温度和谷层厚度对发芽率的影响

Fig.5 Effect of air temperature and paddy thickness on germinating rate

图 6 表明，温度低于 0 水平时，相同条件下，发芽率会随温度的降低而升高；当温度高于 0 水平，含水率在 -2~0.5 水平时 (16%~23.5%)，发芽率较高，而含水率在 1.5~2 水平时 (26.5%~28%)，发芽率很低，并且此时温度越高，发芽率越低。

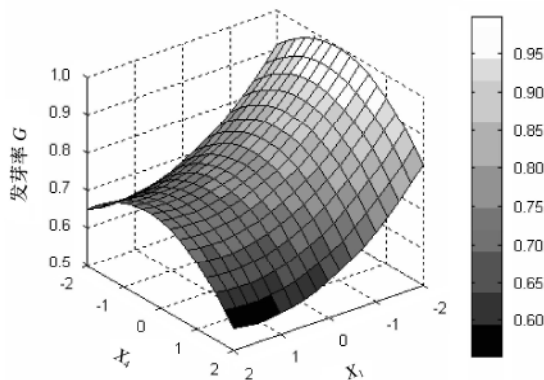


图 6 热风温度和稻谷初始含水率对发芽率的影响

Fig.6 Effect of air temperature and paddy original moisture content on germinating rate

图 7 表明，稻谷初始含水率较高时（>22%），增加缓苏时间可以明显提高稻谷的发芽率，而初始含水率较低（<22%）时，增加缓苏时间反而会降低稻谷的发芽率。

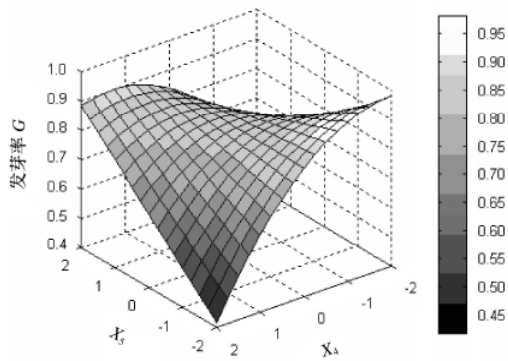


图 7 稻谷初始含水率和缓苏时间对发芽率的影响
Fig.7 Effect of paddy original moisture content and tempering time on germinating rate

3. 4 动力预测模型和回归预测模型比较

将发芽率动力预测模型和回归预测模型与 36 次正交旋转试验条件下的稻谷发芽率测定结果进行比较，预测误差如表 4 所示。回归模型的预测结果优于一阶动力模型。就影响因素分析来看，利用回归预测模型进行各工

艺参数影响分析，可在因子范围内做到直接、直观、全面；利用一阶动力模型可进行任意受热温度及干燥时间变化空间内单因素影响的直接分析，其他因素只能做到间接分析，且不能全面体现影响因素的共同作用。回归模型不能反应种子活性在干燥过程中的变化机理，而一阶动力模型从生物生理特点出发，能够反映不同种子胚蛋白在不同受热温度下的热特性和含水率对发芽率的影响，从生物学的角度为干燥发芽率的预测提供参考。

表 4 两种预测模型预测误差的对比
Table 4 Comparison of predicted value errors with two models

	回归模型	一阶动力模型
误差平方和	0.46496	0.48358
最大误差	0.27344	0.30307
最小误差	0.00594	0.00338
误差方差	0.16469	0.20830

4 干燥工艺参数的优化

根据建立的回归方程，通过计算机模拟寻优。每个因素取 5 个水平：±2，±1 和 0，对相应 3215 个方案寻优，得出稻谷深床干燥发芽率大于 90% 的 1082 个方案中各变量取值与频率分布如表 5 所示。

表 5 发芽率>90%的变量数值与频率
Table 5 Variable values and frequencies for germinating rate more than 90%

编 码	因素频数				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
-2	107	262	225	116	216
-1	91	241	212	204	188
0	122	38	195	280	189
1	296	182	210	273	214
2	466	201	240	209	275
均数	0.85305	-0.16728	0.025878	0.235675	0.133087
标准误差	0.040197	0.043745	0.044143	0.038295	0.044773
95%的分布区间	(0.7743,0.9318)	(-0.2530,-0.0815)	(-0.0606,0.1124)	(0.1606,0.3107)	(0.0453,0.2208)
工艺参数范围	(72.7 , 74.3)	(0.73 , 0.79)	(39.4 , 41.1)	(22.48 , 22.93)	(3.07 , 3.33)

由表 5 可知，在试验条件下，当热风温度、表现风速、谷层厚度、稻谷初始含水率及缓苏时间分别在 72.7~74.3℃、0.73~0.79 m/s、39.4~41.1 cm、22.48%~22.93%、3.07~3.33 h 范围内，其发芽率大于 90% 的概率为 95%。

5 结 论

1) 采用二次回归正交旋转组合设计，进行了稻谷深床干燥发芽率的试验研究，建立了基于多试验因子条件下稻谷发芽率动力预测模型，确定模型参数分别为 Z₁=0.06011，Z₂=0.02558，E=194.18333。

2) 建立了干燥热风温度、表现风速、稻谷初始含水率、谷层厚度和缓苏时间与发芽率之间具有较好拟合性和显著性的回归数学模型，为分析干燥工艺参数对稻谷发芽率的影响奠定了基础。

3) 利用发芽率动力预测模型和回归预测模型从不同角度分析了试验因子对稻谷发芽率的影响规律。回归预测模型的精度较高，并且将干燥工艺参数与发芽率直接联系起来，对指导稻谷干燥生产具有实际应用价值。

4) 在稻谷初始发芽率为 97.5% 的条件下，利用频数分析择优法，得出初始含水率为 22.48%~22.93%，谷层厚度为 39.4~41.1 cm，干燥热风温度为 72.7~74.3℃，表现风速为 0.73~0.79 m/s，缓苏时间为 3.07~3.33 h 条件下，稻谷干燥后发芽率高于 90% 的可能性为 95%。

[参 考 文 献]

[1] 谢维治，张奕群，杨雪花. 稻谷储藏期间发芽率变化的研究[J]. 粮食储藏，2008，37(1): 47—49.

[2] 李娟玲，陈坤杰，杨明毅，等. 固定床深层干燥稻谷爆腰增率及发芽率试验研究[J]. 粮食与饲料工业，2001，21(12): 9—11.

Li Juanling, Chen Kunjie, Yang Mingyi, et al. Studies of paddy's increased crack percentage and sprouting percentage after being dried in a fixed bed[J]. Journal of Grain and Feed Industries, 2001, 21(12): 9—11. (in Chinese with English abstract)

[3] Thompson J F, Shone M L, Kranzler G A. Modified air flow rate and temperature hot drying[J]. Transactions of the

- ASAE, 1985, 28(4): 1297—1300.
- [4] 张涛, 张春庆. 玉米种子微波间歇干燥特性及其对发芽率的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 340—348.
Zhang Tao, Zhang Chunqing. Effects of drying maize seeds with different intermittent microwave on germination percentage and drying characteristics[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 340—348. (in Chinese with English abstract)
- [5] 朱文学, 曹崇文, 戴天红. 干燥过程对大豆发芽质量及发芽率的影响[J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(1): 72—74.
Zhu Wenxue, Cao Chongwen, Dai Tianhong. The effect of the drying process on the germination of soybean seeds[J]. Journal of Huangzhong University of Science and Technology, 1997, 25(1): 72—74. (in Chinese with English abstract)
- [6] 曹志洋, 韦志彦, 李兴军. 高温高湿处理对稻谷发芽率与糖类、蛋白质及氨基酸含量的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(1): 22—28.
Cao Zhiyang, Wei Zhiyan, Li Xingjun. Effect of high temperature and high humidity on the germination and contents of sugars, protein and amino acids of rice grains[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2009, 30(1): 22—28. (in Chinese with English abstract)
- [7] 朱文学. 干燥过程中谷物应力裂纹和发芽率的模拟与试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1997.
Zhu Wenxue. Simulation and Experimental Study on Stress Cracks and Germination of Grain in Drying[D]. Beijing: China Agricultural University, 1997. (in Chinese with English abstract)
- [8] 朱文学, 曹崇文. 横流干燥种子发芽率的预测模型[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(2): 59—62.
Zhu Wenxue, Cao Chongwen. Forecasting model of germination of grain seeds in cross-current drying[J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 4(2): 59—62. (in Chinese with English abstract)
- [9] 连政国, 朱文学, 曹崇文. 顺流干燥种子发芽率的预测[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 198—201.
Lian Zhengguo, Zhu Wenxue, Cao Chongwen. Simulation of germination of grain seeds during concurrent flow drying[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(2): 198—201. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王丹阳, 李成华. 水稻深床干燥工艺参数对爆腰增率影响的试验研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(4): 482—484.
Wang Danyang, Li Chenghua. Study on influence of drying parameters on additional crack percentage of paddy rice in a deep fixed-bed[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2005, 36(4): 482—484. (in Chinese with English abstract)
- [11] 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1988.
Xu Zhongru. Optimal Regression Design for Agricultural Experiment[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology press, 1988. (in Chinese)
- [12] 褚治德, 杨俊红, 孟宪玲. 蔬菜种子的干燥动力学及其活性[J]. 工程热物理学报, 2000, 21(2): 220—223.
Chu Zhide, Yang Junhong, Meng Xianling. Vegetable seed drying dynamics and its viability[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2000, 21(2): 220—223. (in Chinese with English abstract)
- [13] 章华仙. 水稻种子活力、生活力检测方法及其计算机视觉的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Zhang Huaxian. Research on Vigor, Viability Testing Methods of Rice (*Oryza Sativa* L.) Seed and Computer Vision Application[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [14] Giner S A, Lupano C E, Anon E C. A model for estimating loss of wheat seed viability during hot-air drying[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68(1): 77—80.
- [15] 张银. 热风温度对种子稻谷干燥速率与发芽率的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
Zhang Yin. The Effect of Hot Air on Paddy Drying and Germinating Rate[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2004. (in Chinese with English abstract)

Development of germinating rate model and influencing parameters for paddy rice drying in a deep fixed-bed

Wang Danyang¹, Li Chenghua^{2*}, Zhang Benhua¹, Ma Jian¹, Jin Hongliang¹

(1. Engineering College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

Abstract: To improve the quality of dried rice seed and solve the application limitation in existing models for predicting germinating rate of dried paddy, we conducted experiments of paddy drying in a deep fixed-bed by using a quadratic orthogonal rotating design. First order dynamic model for predicting germinating rate of paddy dried in deep fixed-bed was developed and verified, model parameters were optimized: undetermined constants of $Z_1=0.06011$ and $Z_2=0.02558$, activation energy of germ protein denaturation $E=194.18333$. Model examination showed that higher prediction accuracy was achieved with error square sum 0.48358. A regression model describing relations between experiment factor and germinating rate was developed, and impact of experiment factors on germinating rate was analyzed. The order of the factor was clarified though calculation of contribution rate. The two types of model were compared and the parameters for paddy drying were optimized by frequency analytical method. An optimum range of the parameters for germinating rate higher than 90% was given with 95% probability. The results provide useful references for parameter design of drying equipment and drying procedure of rice seed in practice.

Key words: drying models, regression analysis, paddy rice, germinating rate, deep fixed-bed