

# 烤烟糖碱比和氮碱比的醇化预测模型研究

唐士军, 李东亮\*, 戴亚 (四川省川渝中烟工业公司技术研发中心, 四川成都 610066)

**摘要** [目的]建立醇化烟叶化学成分的预测模型,用于预测醇化后烟叶化学成分协调性的变化情况,以便指导配方打叶的小配方模块设计。[方法]利用灰色理论建立了烤烟醇化过程糖碱比GM(1,1)灰色模型、糖碱比新陈代谢GM(1,1)灰色模型、氮碱比GM(1,1)灰色模型、氮碱比指数平滑GM(1,1)灰色修正模型和氮碱比对数GM(1,1)灰色修正模型。[结果]糖碱比灰色模型精度较高,2种模型精度分别达到了98.37%、99.73%;氮碱比灰色模型通过指数平滑和对数修正后,模型精度分别达到了93.56%、88.52%。[结论]建立的各种糖碱比、氮碱比模型都有意义,而且可用作中、长期预测。

**关键词** 烤烟;醇化;糖碱比;氮碱比;GM(1,1)灰色模型

**中图分类号** S572 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)23-10835-03

## Forecast Model of Ratio of Total Sugar to Nicotine and Ratio of Total Nitrogen to Nicotine in Aged Flue-cured Tobacco

TANG Shi-jun et al (China Tobacco Chuanyu Industrial Corporation Technical Research and Development Center in Sichuan, Chengdu, Sichuan 610066)

**Abstract** [Objective] The forecast model for aged flue-cured tobacco was established in order to forecast the change of chemical constituent in aged flue-cured tobacco leaves and to advise the little blending leaf groups design of blending strips. [Method] The test founded GM(1,1) grey model and metabolic GM(1,1) grey model of ratio of total sugar to nicotine, and GM(1,1) grey mode, exponent smoothness GM(1,1) grey mode and logarithm GM(1,1) grey mode of ratio of total nitrogen to nicotine in aged flue-cured tobacco. [Result] The model accuracy of ratio of total sugar to nicotine was higher and attained 98.37% and 99.73% respectively. The model accuracy of ratio of total nitrogen to nicotine attained 93.56% and 88.52% after the GM(1,1) grey model was modified by exponent smoothness and logarithm. [Conclusion] The model test indicated that all model founded are significative and can be applied in medium and long-term forecast.

**Key words** Flue-cured tobacco; Aging; Ratio of total sugar to nicotine; Ratio of total nitrogen to nicotine; GM(1,1) grey model

目前,关于烤烟醇化过程中化学成分的变化趋势的研究较多,但用于化学成分预测的模型尚未见报道<sup>[1-4]</sup>。在实际生产中,打叶复烤时设计的小配方模块不仅要考虑烟叶当时的化学成分的协调性,还应充分考虑醇化后烟叶化学成分的变化情况。因为卷烟配方一般使用醇化后的烟叶,其化学成分的协调性与当初配方打叶时化学成分的协调性已经发生了较大改变,所以有必要建立醇化烟叶化学成分的预测模型,用于预测醇化后烟叶化学成分协调性的变化情况,以便指导配方打叶的小配方模块设计。另一方面,由于醇化研究费时较长,获得大样本数据比较困难,因此不适合建立回归预测模型,而灰色模型的特点正是小数据建模,它只需4个数据就可建立预测模型,而且精度还较高<sup>[5]</sup>。为此,笔者采用灰色处理方法建立了烤烟醇化过程糖碱比、氮碱比的灰色预测模型和其他几种灰色修正模型,旨在为配方打叶的小配方模块设计提供一种研究思路。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 重庆片烟 B2L,醇化期为2000~2004年,化学成分检测指标为糖碱比和氮碱比。

**1.2 方法** 总糖、烟碱和总氮含量的测定参考王瑞新等<sup>[6-7]</sup>的方法。全部试验数据处理采用灰色分析法<sup>[5]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 化学成分指标的测定结果** 分别对每年所取样品各化学成分指标进行检测,结果见表1。

**2.2 糖碱比、氮碱比的GM(1,1)灰色模型** 设原始序列  $x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$ , 它的一阶累加生成序列为:  $x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)]$ , 其中,  $x^{(1)}(k) =$

$\sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), i = 1, 2, \dots, n$ 。  $x^{(1)}$  的紧邻均值生成序列为:  $z^{(1)} = [z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)]$ , 其中,  $z^{(1)}(k) = 0.5[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)], k = 2, 3, \dots, n$ 。若  $\hat{a} = [a, b]^T$  为参数列,且  $Y = [x^{(0)}(2) \quad x^{(0)}(3) \quad \dots \quad x^{(0)}(n)]^T$ ,  $B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & -z^{(1)}(3) & \dots & -z^{(1)}(n) \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}^T$ , 则GM(1,1)模型  $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$  的最小二乘估计参数列满足:  $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$ , 时间响应序列为:  $\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a}, k = 1, 2, \dots, n$ , 时间响应序列还原值为:  $\hat{x}^{(0)}(k+1) = (1 - e^{-a}) [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak}, k = 1, 2, \dots, n$ 。

表1 化学成分检测结果

Table 1 The detection results of chemical components

年份	等级	氮碱比	糖碱比
Year	Grade	Nitrogen-alkali ratio	Sugar-alkali ratio
2000	片 B2L	1.07	8.50
2001	片 B2L	0.98	8.44
2002	片 B2L	0.83	8.15
2003	片 B2L	0.72	7.31
2004	片 B2L	1.01	6.63

糖碱比的建模序列为:  $x^{(0)} = (8.50, 8.44, 8.15, 7.31)$ , 氮碱比的建模序列为:  $x^{(0)} = (1.07, 0.98, 0.83, 0.72, 1.01)$ 。依据上述建模程序,建立烤烟醇化过程中糖碱比、氮碱比的GM(1,1)灰色模型,结果见表2。对所建立的模型进行精度检验,结果见表3。

发展系数  $-a$  属于  $[-2, 2]$ , 所建模型有意义。  $-a \leq 0.3$ , GM(1,1)模型可用于中、长期预测。一般情况下,系统作用量应是外生的或者前定的,而GM(1,1)是单序列建模,只用到系统的行为序列,无外作用序列。模型中的灰色作用

基金项目 川渝集团质量体系建设资金资助项目。

作者简介 唐士军(1967-),女,四川成都人,工程师,从事烟草工艺、配方方面的研究。\*通讯作者,博士, E-mail: lidongliang163@yahoo.com.cn。

收稿日期 2009-04-20

量  $b$  是从背景值中挖掘出来的数据,它反映数据变化的关系,其确切内涵是灰的。它是区别灰色建模与一般建模的重要标志<sup>[5]</sup>。从表 2 可以看出,糖碱比、氮碱比 GM (1,1) 模型

发展系数  $-a \leq 0.3$ ,说明所建模型有意义,可用于中、长期预测。其中,氮碱比 GM (1,1) 模型的灰色作用量较小,糖碱比 GM (1,1) 模型的灰色作用量较大,说明糖碱比更适合建立灰

表 2 烤烟醇化期间糖碱比、氮碱比的 GM (1,1) 模型

Table 2 GM (1,1) model of sugar-alkali ratio and nitrogen-alkali ratio in the alcoholization period of flue-cured tobacco

指标 Index	模型类别 Model types	时间响应序列还原式 Reduction formula of time response series	发展系数 (-a) Development coefficient	灰色作用量 (b) Grey action	模型精度检验等级 Accurate detection grade of model
糖碱比 Sugar-alkali ratio	GM (1,1) 模型	$\hat{x}^0(k+1) = 9.1497 \times \exp(-0.0701 \times k)$	-0.0701	9.4263	2 级
	新陈代谢 GM (1,1) 模型	$\hat{x}^0(k+1) = 9.0175 \times \exp(-0.0135 \times k)$	-0.1035	9.4324	2 级
氮碱比 Nitrogen-alkali ratio	GM (1,1) 模型	$\hat{x}^0(k+1) = 0.8907 \times \exp(-0.0025 \times k)$	-0.0025	0.8921	4 级
	指数平滑 GM (1,1) 修正模型	$\hat{x}^0(k+1) = 1.0242 \times \exp(-0.0472 \times k)$	-0.0472	1.0517	3 级
	对数 GM (1,1) 修正模型	$\hat{x}^0(k+1) = \exp[1 - 1.1190 \times \exp(0.0047 \times k)]$	0.0047	1.1171	4 级

表 3 烤烟醇化期间糖碱比、氮碱比的 GM (1,1) 模型检验结果

Table 3 GM (1,1) model test results of sugar-alkali ratio and nitrogen-alkali ratio in the alcoholization period of flue-cured tobacco

指标 Index	模型类别 Model types	原始数据 Original data	模拟数据 Simulated data	残差 Residual error	相对误差 // % Relative error	平均相对误差 // % Average relative error	广义相对误差 // % Generalized relative error	残差 t 检验 t test of relative error	模型精度 // % Accuracy of the model
糖碱比 Sugar-alkali ratio	GM (1,1) 模型	8.44	8.53	-0.09	1.05	1.63	1.63 ± 0.72	0.981	98.37
		8.15	7.95	0.20	2.44				
		7.31	7.41	-0.10	1.41				
	新陈代谢 GM (1,1) 模型	8.15	8.13	0.02	0.24	0.27	0.27 ± 0.03	0.676	99.73
		7.31	7.33	-0.02	0.27				
氮碱比 Nitrogen-alkali ratio	GM (1,1) 模型	6.63	6.61	0.02	0.29	13.25	13.25 ± 6.93	1.000	86.75
		0.98	0.89	0.10	9.73				
		0.83	0.89	-0.06	7.37				
		0.72	0.88	-0.17	23.10				
		1.01	0.88	0.13	12.79				
	指数平滑 GM (1,1) 修正模型	1.02	0.98	0.04	3.92	6.44	6.44 ± 3.95	0.993	93.56
		0.91	0.93	-0.02	2.62				
		0.80	0.89	-0.09	11.31				
		0.92	0.85	0.07	7.91				
		1.02	1.12	-0.11	10.64	11.48	11.48 ± 4.64	1.000	88.52
对数 GM (1,1) 修正模型	1.19	1.13	0.06	5.25					
	1.33	1.13	0.20	14.76					
	0.99	1.14	-0.15	15.27					

色模型。

相对误差大体上能够反映模型的精度,但还不够完善,采用广义相对误差和残差平均值的  $t$  检验(与零的差异显著性),再结合相对误差检验,可以对模型进行比较全面的检验<sup>[8-11]</sup>。从表 3 可以看出,糖碱比 GM (1,1) 模型精度较高,达到了 2 级水平;残差  $t$  检验结果说明,残差均值与零没有显著差异,可认为残差近似服从  $N(0, \sigma^2)$  分布,残差序列是零均值的独立序列;广义相对误差表明,平均相对误差的标准差为 0.72,波动幅度较小。氮碱比 GM (1,1) 模型精度一般,为 4 级水平;其平均相对误差的标准差达到了 6.93,波动较大;残差  $t$  检验结果说明,残差序列是零均值的独立序列。

**2.3 糖碱比的新陈代谢 GM (1,1) 灰色模型** 从预测角度看,新陈代谢模型是最理想的模型,随着系统的发展,老数据的信息意义将逐步降低,在不断补充新信息的同时,及时地去掉老信息,建模序列更能反映系统目前的特征<sup>[5]</sup>。去掉一个最老的信息  $x^{(0)}(1)$ ,置入 1 个最新信息  $x^{(0)}$ ,得到建模序列  $x^{(0)} = (8.44, 8.15, 7.31, 6.63)$ 。依据上述建模程序,建立

糖碱比的新陈代谢 GM (1,1) 模型,并对模型进行检验,结果见表 2、3。从表 2 可以看出,糖碱比新陈代谢 GM (1,1) 模型发展系数  $-a \leq 0.3$ ,说明所建模型有意义,可用于中、长期预测。从表 3 可以看出,新陈代谢 GM (1,1) 模型比常规 GM (1,1) 模型的平均相对误差、平均相对误差的标准差都有所降低,预测值的误差波动范围缩小,模型精度得到提高;残差  $t$  检验结果说明,残差序列是零均值的独立序列。

**2.4 氮碱比的指数平滑 GM (1,1) 灰色修正模型** 先对氮碱比原始数据序列进行一次指数平滑<sup>[12-13]</sup>,得到氮碱比建模序列  $x^{(0)} = (1.07, 1.02, 0.91, 0.80, 0.92)$ 。依据上述建模程序,建立氮碱比的指数平滑 GM (1,1) 灰色修正模型,并对模型进行检验,结果见表 2、3。从表 2 可以看出,氮碱比的指数平滑 GM (1,1) 灰色修正模型发展系数  $-a \leq 0.3$ ,说明所建模型有意义,可用于中、长期预测。从表 3 可以看出,氮碱比的指数平滑 GM (1,1) 灰色修正模型比常规 GM (1,1) 模型平均相对误差、平均相对误差的标准差都有较大降低,预测值的误差波动范围缩小,模型精度得到提高,模型精度检验等

级由 4 级提高到 3 级;残差  $t$  检验结果说明,残差序列是零均值的独立序列。

**2.5 氮碱比的对数 GM (1,1) 灰色修正模型** 先对原始数据进行对数运算<sup>[14-15]</sup>,然后再进行逆化算子运算,得到氮碱比建模序列  $x^{(0)} = (0.94, 1.02, 1.19, 1.33, 0.99)$ 。依据上述建模程序,建立氮碱比的对数 GM (1,1) 灰色修正模型,并对模型进行检验,结果见表 2、3。从表 2 可以看出,氮碱比的对数 GM (1,1) 灰色修正模型发展系数  $-a \leq 0.3$ ,说明所建模型有意义,可用于中、长期预测。从表 3 可以看出,氮碱比的对数 GM (1,1) 灰色修正模型比常规 GM (1,1) 模型平均相对误差、平均相对误差的标准差都有所降低,预测值的误差波动范围缩小,模型精度得到提高,但其模型精度检验等级仍为 4 级,说明对数修正模型对模型的修正能力远远不如指数平滑修正模型。残差  $t$  检验结果说明,残差序列是零均值的独立序列。

### 3 结论与讨论

该研究建立了烤烟醇化期间糖碱比 GM (1,1) 灰色模型、糖碱比新陈代谢 GM (1,1) 灰色模型、氮碱比 GM (1,1) 灰色模型、氮碱比指数平滑 GM (1,1) 灰色修正模型和氮碱比对数 GM (1,1) 灰色修正模型。其中,糖碱比灰色模型精度较高,2 种模型精度分别达到了 98.37% 和 99.73%;氮碱比灰色模型精度一般,为 86.75%,通过指数平滑和对数修正后,模型精度分别达到了 93.56% 和 88.52%。氮碱比的预测模型还可通过算法修正、残差修正以及组合模型的使用进一步提高其精度。发展系数表明,建立的各种糖碱比、氮碱比模型都有意义,而且可用作中、长期预测。

打叶复烤时小配方模块设计好后,可采用预测模型对其化学成分的协调性进行预测,依据预测的结果对小配方模块化学成分作出综合评价。在实际操作中,如果考虑醇化的作用,配方打叶工序进行的小配方模块评价标准可以适当放大要求范围,只需在醇化后满足配方使用要求即可。

### 参考文献

- [1] 范坚强,宋纪真,陈万年,等.醇化过程中烤烟片烟化学成分的变化[J].烟草科技,2003(8):19-22.
- [2] 郭俊成,程晓蕾,肖厚荣,等.皖南烤烟陈化研究[J].中国烟草科学,1996(2):16-17.
- [3] 朱大恒,韩锦峰,张爱萍,等.自然醇化与人工发酵对烤烟化学成分变化的影响比较研究[J].烟草科技,1999(1):3-5.
- [4] 胡有持,杨述元,李炎强,等.陈化过程中河南复烤片烟 B2F 和 C3F 理化指标的变化[J].烟草科技,2004(5):11-15.
- [5] 刘思峰,党耀国,方志耕.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2004.
- [6] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业科学技术出版社,1997.
- [7] 王瑞新,韩富根,杨素勤.烟草化学品质分析方法[M].郑州:河南科学技术出版社,1990.
- [8] 吕安林,张晶,赵树民.灰色模型的精度及误差检验研究[J].华中理工大学学报,1998,26(1):41-42,45.
- [9] 朱宝璋.关于灰色建模的模型精度问题的研究[J].系统工程,1991,9(5):13-19.
- [10] 熊岗,陈章潮.灰色预测模型的缺陷及改进方法[J].系统工程,1992,10(6):32-36.
- [11] 吕海涛,赵林明.应用灰色模型(GM)时注意的一些问题[J].华北水利水电学院学报,2000,21(1):76-78.
- [12] 史玉峰,宁津生.指数平滑法改进灰色模型及其在形变数据分析中的应用[J].煤炭学报,2005,30(2):206-209.
- [13] 秦肖生,曾光明.非线性灰色模型在污染物总量预测中的应用[J].江苏环境科技,2000,13(4):18-21.
- [14] 宋中民.灰色 GM (1,1) 模型参数的优化方法[J].烟台大学学报:自然科学与工程版,2001,14(3):161-163.
- [15] 陈涛捷.灰色预测模型的一种推广[J].系统工程,1990,8(4):50-52.

(上接第 10834 页)

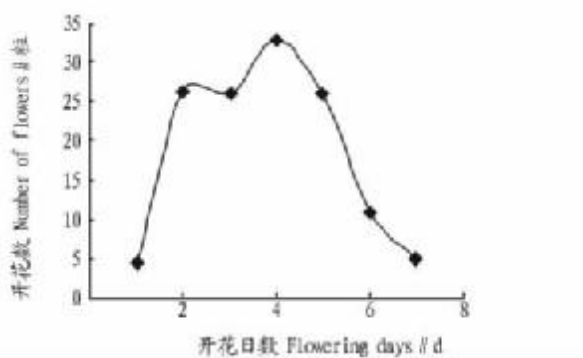


图 4 两优培九开花量的逐日变化

Fig4 Daily variations of flowering amount of Liangyoupeijiu

(2) 水稻花粉在垂直方向上的分布主要与农田湍流状况有关,冠层花粉主要通过湍流向上扩散。一般地,冠层上方花粉量随高度递减。

(3) 两优培九稻田冠层上方花粉源强平均值为  $0.43 \times 10^9$  粒/( $\text{hm}^2 \cdot \text{d}$ ),占 Westgate 等测定的开花期花粉总量的

1.8%,符合实际情况。且花粉源强大小与实际开花多少相一致。这些均说明用二维通量积分方法估算水稻冠层上方花粉源强大小是可行的。

### 参考文献

- [1] DI-GIOVANNI F D, BECKETT P M. On the mathematical modeling of pollen dispersal and deposition [J]. Journal of Applied Meteorology, 1990, 29(12):1352-1357.
- [2] LOOS C, SEPPELT R, MEIER-BETHKE S, et al. Spatially explicit modeling of transgenic maize pollen dispersal and cross pollination [J]. Journal for Theoretical Biology, 2003, 225(2):241-255.
- [3] 隋娟娟,张卓文,李时元,等.日本落叶松种子园花粉散发及空间分布特征[J].中南林学院学报,2006,26(2):55-59.
- [4] AYLOR D E, JIE QIU. Micrometeorological determination of release rate of Venturia inaequalis ascospores from a ground-level source during rain [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 81:157-178.
- [5] WANG J M, YANG X S, MILLER DAVID R, et al. Atmospheric gene flow from transgenic corn crop [R]. USA: ASAE Annual Meeting, 2003.
- [6] NORA HELBIG, BERNHARD VOGEL, HEIKE VOGEL, et al. Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale [J]. Aerobiologia, 2004, 20(1):3-19.
- [7] WESTGATE JAMES W, GEE CAROLE T. Paleocology of a middle Eocene mangrove biota (vertebrates, plants, and invertebrates) from southwest Texas [J]. Palaeoecology, 1990, 78:163-177.