

## 不同调控因素对打叶复烤成品片烟质量均匀性的影响

尹旭<sup>1</sup>, 王戈<sup>2</sup>, 徐其敏<sup>1</sup>, 张鑫<sup>2</sup>, 窦家宇<sup>1</sup>, 吴晓梅<sup>1</sup>

(1. 华环国际烟草有限公司, 安徽凤阳 233121; 2. 上海烟草集团有限公司技术中心, 上海 200082)

**摘要** 为探究不同调控因素对打叶复烤成品片烟均匀性的影响, 利用在线近红外光谱仪检测烟叶的烟碱含量、光谱特征值和颜色值, 并在打叶复烤投料混配环节按照“烟碱”“烟碱+颜色”“光谱”“光谱+颜色”“颜色”5种调控因素进行混配投料, 并通过变异系数、*t*检验、相关分析探讨不同调控因素之间的关系。结果表明:“颜色”因素能够明显提升成品片烟颜色值和氯含量的均匀性,“烟碱+颜色”因素组合会降低烟碱和总糖含量的均匀性,“光谱+颜色”因素组合在提升颜色值均匀性的同时还能使烟碱、总糖、氯含量的均匀性控制在较高水平。相关分析结果表明,烟碱含量与总氮、钾、氯含量的CV值呈一定程度的正相关,总糖含量和氯含量CV值呈负相关。

**关键词** 调控因素;打叶复烤;均匀性中图分类号 TS44<sup>+</sup>3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0175-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.039



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Effects of Different Regulation Factors on the Quality Homogeneity of Threshing and Redrying Finished Tobacco Lamina**YIN Xu<sup>1</sup>, WANG Ge<sup>2</sup>, XU Qi-min<sup>1</sup> et al (1. Huahuan International Tobacco Co., Ltd., Fengyang, Anhui 233121; 2. Technology Center of Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082)

**Abstract** In order to explore the effects of different regulation factors on the homogeneity of threshing and redrying finished tobacco lamina, the online near-infrared spectrometer was used to detect the nicotine content, spectral characteristic value and color of tobacco leaves. Five regulation factors of “nicotine”, “nicotine + color”, “spectrum”, “spectrum+color” and “color” were homogenized and mixed in the links of threshing, redrying, feeding and mixing. And the relationship between different regulation factors was analyzed by coefficient of variation, *t*-test and correlation analysis. The results showed that the regulation factor “color” could obviously improve the uniformity of color and chlorine content of finished tobacco lamina, the combination of “color” and “nicotine” could reduce the uniformity of nicotine and total sugar content. And the combination of “color” and “spectrum” could not only improve the color uniformity, but it also could control the uniformity of nicotine, total sugar and chlorine content at higher levels. The correlation analysis showed that CV of nicotine content was positively correlated with CV of total nitrogen content, potassium and chlorine content, and there was a negative correlation between CV of total sugar content and chlorine content.

**Key words** Regulation factors; Threshing and redrying; Homogeneity

当前均质化加工技术作为支撑打叶复烤未来发展的重要技术之一, 相关应用研究主要集中在通过在线、离线检测手段获得烟叶原料烟碱含量, 再根据烟碱含量进行高低混配, 从而实现成品片烟烟碱含量的均匀、稳定<sup>[1-4]</sup>。烟叶常规化学成分除了包含烟碱外, 还有糖、氮、氯、钾等多种成分。烟叶颜色作为评判烤烟外观质量的一个重要指标, 与烟叶呼吸质量和化学成分等内在质量存在较强关联<sup>[5-9]</sup>。因此, 在打叶复烤环节利用现代技术手段提高片烟产品在化学成分、外观颜色等指标的均匀性研究具有重要的意义。笔者利用在线近红外分析技术、烟叶颜色计算机识别技术检测烟叶的烟碱含量、光谱特征值以及颜色值, 结合企业打叶复烤均质化控制工艺及装备特点, 研究“烟碱”“烟碱+颜色”“光谱”“光谱+颜色”“颜色”5种调控因素对成品片烟均质化的影响, 以期从多个维度提升成品片烟质量的均匀性和稳定性, 为打叶复烤均质化工艺技术的改进提供参考。

**1 材料与方****1.1 试验材料、主要设备与仪器**

**1.1.1 试验材料。**试验材料为由中部烟叶原料组成的A、B、C、D、E、F、G 7个配打模块。

**1.1.2 主要设备与仪器。**Armor 711 在线近红外光谱仪(德国 Carl Zeiss 公司, PDA 阵列型 InGaAs 检测器, 波长范围 900~1 700 nm, 光斑直径 30 mm); 基恩士 CV-X100a 工业相机[日本 Keyence 公司, CCD 彩色/黑白切换式面阵相机, 相机像素 640(H)X492(V)、32 万像素彩色, 镜头 CV90]; AN-TARIS 傅里叶变换型近红外光谱仪(美国 Thermo Fisher 公司); SEAL AutoAnalyzer 3 连续流动分析仪。

**1.2 试验方法**

**1.2.1 不同因素调控方案。**烟叶原料按照模块设计要求通过分选混配线投料混配的同时进行在线分选, 然后利用 Armor 711 在线近红外光谱仪、基恩士 CV-X100a 工业相机在线实时检测分选后每架烟叶(约 350 kg)的烟碱含量、光谱特征值、颜色值等信息。分选生产结束后, 根据模块物料数量, 按照“烟碱”“烟碱+颜色”“光谱”“光谱+颜色”“颜色”5种调控因素(图 1)进行均匀性调控生产试验。最后, 分析同一模块不同调控因素的调控效果以及不同模块相同调控因素的调控规律。

**1.2.2 烟叶化学成分含量、光谱特征值、颜色值检测。**

**1.2.2.1 分选后烟叶烟碱含量检测。**使用 Armor 711 在线近红外光谱仪(光谱分辨率 10 nm, 扫描波长 910~2 200 nm, 扫描频次 30 次/s, 检测器为 InGaAs, 检测器二极管阵列数为 256, 背景自动校正 30 min)在线采集光谱信息, 按照文献[10]的方法建立烟碱在线近红外检测模型, 在线检测分选后每架烟叶的烟碱含量。

**基金项目** 安徽省烟草公司重点项目(20170551001); 华环国际烟草有限公司项目(20210550002)。

**作者简介** 尹旭(1984—), 男, 安徽亳州人, 工程师, 从事打叶复烤工艺研究。

**收稿日期** 2022-02-16

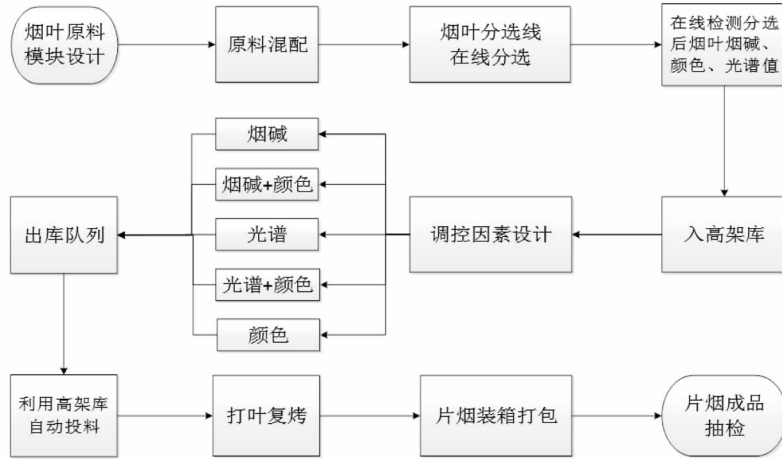


图 1 不同因素均质化调控工艺流程

Fig. 1 The process flow of homogenized control by different factors

1.2.2.2 分选后烟叶光谱特征值检测。使用 Armor 711 在线近红外光谱仪在线采集近红外光谱,剔除异常光谱并进行预处理后,再利用投影、多种群遗传算法<sup>[11]</sup>构建光谱定性检测模型,实时检测分选后每架烟叶的光谱特征值。

1.2.2.3 烟叶颜色值检测。使用基恩士 CV-X100a 工业相机(像素 512×480,相机快门速度 1/1 000,CCD 敏感设定 6.4,采集频次 20 次/s,光源类型为环形光源)采集烟叶样本颜色的孟塞尔信号数据,按照文献[12]的方法建立烟叶颜色值检测模型,进行烟叶颜色值检测。

1.2.2.4 片烟成品化学成分检测。片烟成品每 25 箱取一个综合样,使用 SEAL AutoAnalyzer 3 连续流动分析仪,按照文献[13-17]的方法进行烟碱、总糖、总氮、钾、氯含量的检测。

2 结果与分析

依据“1.2.2”的方法检测片烟成品的化学成分含量及颜色值,再按照配方模块分别计算不同调控因素下成品片烟化学成分含量和颜色值的变异系数(CV 值),通过 CV 值判断各调控因素的优劣。由表1可知,试验模块烟碱含量CV值

表 1 各模块不同调控因素下片烟成品化学成分含量和颜色值的 CV 值分析

Table 1 CV analysis of the content of the chemical components and color value of finished tobacco lamina regulated by different factors in each module

调控因素 Regulation factors	烟碱含量 Nictine content								总糖含量 Total sugar content							
	A	B	C	D	E	F	G	平均值 Average	A	B	C	D	E	F	G	平均值 Average
烟碱 Nicotine	2.62	2.75	3.84	1.97	2.43	4.35	2.54	2.93	2.97	3.79	2.14	2.25	3.43	2.54	2.85	2.85
烟碱+颜色 Nicotine + color	2.28	2.82	4.02	2.80	2.93	5.33	3.13	3.33	3.06	4.64	2.69	2.28	4.52	3.06	2.38	3.23
光谱 Spectrum	2.11	2.94	3.51	2.86	2.76	4.64	2.77	3.08	2.79	3.88	1.47	2.01	4.02	2.51	2.66	2.76
光谱+颜色 Spectrum + color	2.43	2.76	3.55	2.45	2.76	4.83	2.79	3.08	2.30	3.47	2.53	2.34	3.48	2.80	2.61	2.79
颜色 Color	2.31	—	—	2.79	2.78	5.31	2.61	3.16	2.61	—	—	2.81	3.81	3.01	2.07	2.86
平均值 Average	2.35	2.82	3.73	2.57	2.73	4.89	2.77	3.12	2.75	3.95	2.21	2.34	3.85	2.78	2.52	2.91
极差 Range	0.51	0.19	0.52	0.89	0.50	0.98	0.59	0.60	0.76	1.16	1.22	0.80	1.09	0.55	0.79	0.91
调控因素 Regulation factors	总氮含量 Total nitrogen content								钾含量 Potassium content							
	A	B	C	D	E	F	G	平均值 Average	A	B	C	D	E	F	G	平均值 Average
烟碱 Nicotine	1.72	1.74	1.58	1.72	1.73	2.40	2.09	1.85	4.84	5.10	5.40	4.11	7.59	8.43	7.44	6.13
烟碱+颜色 Nicotine + color	1.71	1.95	1.49	1.67	2.01	3.23	1.97	2.00	3.35	8.33	6.13	3.94	5.37	6.68	6.20	5.71
光谱 Spectrum	1.43	1.80	1.45	1.76	1.81	2.26	2.15	1.81	5.06	6.21	5.74	4.44	6.27	5.87	6.78	5.77
光谱+颜色 Spectrum + color	1.74	1.62	2.12	1.78	1.95	2.02	1.72	1.85	3.86	6.26	5.24	4.37	6.86	8.10	7.06	5.96
颜色 Color	1.86	—	—	2.08	1.62	2.65	2.25	2.09	3.91	—	—	4.52	5.31	8.00	4.85	5.32
平均值 Average	1.69	1.78	1.66	1.80	1.82	2.51	2.04	1.90	4.20	6.48	5.63	4.28	6.28	7.42	6.47	5.82
极差 Range	0.42	0.32	0.67	0.41	0.39	1.21	0.54	0.57	1.71	3.23	0.89	0.58	2.28	2.55	2.58	1.97
调控因素 Regulation factors	氯含量 Chlorine content								颜色值 Color							
	A	B	C	D	E	F	G	平均值 Average	E	F	G	平均值 Average				
烟碱 Nicotine	13.17	5.44	29.03	12.51	6.14	6.91	21.58	13.54	1.26	2.11	1.08	1.48				
烟碱+颜色 Nicotine + color	13.21	4.46	24.45	9.82	5.94	9.85	10.55	11.18	0.98	0.66	0.65	0.76				
光谱 Spectrum	15.65	5.77	28.73	9.98	6.22	6.00	14.47	12.40	1.14	0.95	0.82	0.97				
光谱+颜色 Spectrum + color	9.64	4.77	23.82	8.59	6.65	6.10	15.01	10.65	0.64	0.59	0.60	0.61				
颜色 Average	10.03	—	—	7.79	5.96	6.36	15.48	9.12	0.91	0.65	0.86	0.81				
平均值 Average	12.34	5.11	26.51	9.74	6.18	7.04	15.42	11.76	0.99	0.99	0.80	0.93				
极差 Range	6.01	1.30	5.21	4.72	0.71	3.86	11.03	4.69	0.62	1.52	0.48	0.87				

单位:%

总体水平在 3.00% 以下,不同调控因素下 B 模块烟碱含量 CV 值变化较小,D、F 模块烟碱含量 CV 值变化较大。因此,不同因素对 B 模块片烟成品烟碱含量均匀性的影响较小,其对 D、F 模块片烟成品烟碱含量均匀性的影响较大。各试验模块总糖含量 CV 值总体水平在 3.00% 以下,不同调控因素对 B、C、E 3 个模块的影响较大。各试验模块总氮含量 CV 值总体水平在 2.00% 以下,除了 F 模块的“烟碱+颜色”调控因素外,不同因素对各模块总氮含量均匀性的影响无明显差异。各试验模块钾含量 CV 值平均值在 6.00% 左右,除不同调控因素对 C、D 模块钾含量均匀性的影响较小外,对其他模块的影响均较大。不同模块氯含量 CV 值为 4.00%~30.00%,波动较大,不同调控因素对 A、G 模块氯含量均匀性的影响较大。不同模块的颜色值 CV 值为 0.59%~2.11%,

表 2 “烟碱”与其他调控因素成品片烟烟碱 CV 值成对 *t* 检验结果

Table 2 Paired *t*-test results of CV value between “nicotine” and other regulatory factors

调控因素 Regulation factors	观测数 Observed number	平均值 Average	方差 Range	泊松相关系数 Poisson correlation coefficient	假设平均差 Assumed mean deviation	df	<i>t</i>	<i>P</i>
烟碱+颜色 Nicotine + color	7	3.33	1.053	0.896 6	0	6	-2.306 4	0.030 3
光谱 Spectrum	7	3.08	0.638	0.844 6	0	6	-0.894 3	0.202 8
光谱+颜色 Spectrum + color	7	3.08	0.732	0.932 3	0	6	-1.290 8	0.122 1
颜色 Color	5	3.16	1.482	0.917 8	0	4	1.609 5	0.091 4

针对成品片烟其他指标的均匀性进行 *t* 检验,比较不同调控因素之间的差异。结果发现:对于片烟总糖含量 CV 值,“烟碱+颜色”与“烟碱”“光谱”“光谱+颜色”因素之间在检验水平为 0.05 时存在显著差异;“烟碱+颜色”与“颜色”因素之间在检验水平为 0.10 时存在显著差异;其他调控因素之间无显著差异。“烟碱+颜色”调控因素下成品片烟总糖含量 CV 值均值最大,因此“烟碱+颜色”因素对于成品片烟总糖含量均匀性的调控效果较其他调控因素更差。对于片烟总氮和钾含量的 CV 值,不同调控因素间无明显差异。各调控因素下成品片烟氯含量 CV 均值大小排序为“烟碱”>“光谱”>“烟碱+颜色”>“光谱+颜色”>“颜色”。*t* 检验结果表明,在检验水平为 0.05 水平时,“烟碱”与“光谱+颜色”“颜色”调控因素之间存在显著差异;在检验水平为 0.10 时,“烟碱”与“烟碱+颜色”及“光谱”与“光谱+颜色”之间存在显著差异;其他调控因素间无明显差异。因此,从成品片烟氯含量均匀性角度来看,“烟碱”因素的调控效果最差,“光谱+颜色”因素的调控效果优于“光谱”,而“烟碱+颜色”“光谱+颜色”“颜色”3 种调控因素的调控效果基本一致。

由图 2 可知,E、F 模块各调控因素颜色值 CV 值大小顺序为“烟碱”>“光谱”>“烟碱+颜色”>“颜色”>“光谱+颜色”。与“烟碱”调控因素相比,“光谱”“颜色”“烟碱+颜色”“光谱+颜色”调控因素下成品片烟颜色值 CV 值均值分别下降 0.51、0.67、0.72、0.87 百分点,降幅分别达到 34.46%、45.27%、48.65% 和 58.78%。

相关分析结果表明,调控后成品片烟的不同指标 CV 值之间存在一定的相关性,其中烟碱含量与总氮、钾、氯含量

相同模块不同调控因素间的极差在 0.40% 以上。

由表 1 可知,不同调控因素下成品片烟烟碱含量 CV 值均值大小排序为“烟碱+颜色”>“颜色”>“光谱”=“光谱+颜色”>“烟碱”。成对 *t* 检验结果(表 2)表明,在检验水平为 0.05 时,“烟碱”与“烟碱+颜色”因素间存在显著差异;在检验水平为 0.10 时,“烟碱”与“颜色”调控因素间存在明显差异;“烟碱”与“光谱”“光谱+颜色”间无显著差异。通过对片烟烟碱含量 CV 值的 *t* 检验发现:在检验水平为 0.05 时,“烟碱+颜色”与“光谱”“光谱+颜色”调控因素间存在显著差异,“光谱”与“光谱+颜色”间无显著差异。从烟碱含量均匀性角度来看,“烟碱+颜色”和“颜色”调控因素对于降低成品片烟烟碱含量 CV 值的效果较“烟碱”调控因素更差,“光谱”“光谱+颜色”“烟碱”3 种调控因素的调控效果基本一致。

CV 值均呈一定程度的正相关,总糖含量和氯含量 CV 值呈负相关,颜色值 CV 值和其他 5 项化学指标的 CV 值无显著相关(表 3)。

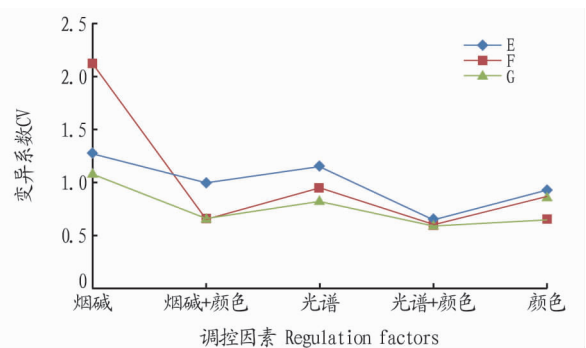


图 2 不同调控因素对颜色值 CV 值的影响

Fig. 2 Effects of different regulation factors on CV value of the color value

### 3 结论与讨论

“烟碱”“烟碱+颜色”“光谱”“光谱+颜色”和“颜色”5 种调控因素对成品片烟不同指标均匀性的调控效果有一定程度的影响。其中“光谱”“光谱+颜色”“烟碱”3 种调控因素对烟碱和总糖含量均匀性的调控效果无明显差异,调控效果较好。“烟碱+颜色”“光谱+颜色”“颜色”3 种调控因素对氯含量均匀性的调控效果均较好。“颜色”调控因素能够明显提升成品片烟颜色值和氯含量的均匀性,但是“烟碱+颜色”会降低成品片烟烟碱和总糖含量的均匀性,“颜色”因素不宜与“烟碱”因素组合。“光谱”因素较“烟碱”因素能够一定程度提高成品片烟颜色值的均匀性,同时“光谱+颜色”因

素能够使成品片烟的烟碱含量、总糖含量、氯含量以及颜色值的均匀性控制在较高水平,“光谱”因素宜与“颜色”因素组合。不同调控因素对总氮和钾含量的均匀性无明显影响。

相关分析结果表明,调控后成品片烟不同指标的均匀性存在一定的相关关系。不同调控因素对不同模块不同指标均匀性的影响程度不同。

表3 不同指标 CV 值之间的 Pearson 相关分析

Table 3 Pearson correlation analysis of the CV values of different indices

指标 Index	烟碱含量 Nicotine content	总糖含量 Total sugar content	总氮含量 Total nitrogen content	钾含量 Potassium content	氯含量 Chlorine content	颜色值 Color value
烟碱含量 Nicotine content	1	-0.107	0.638**	0.516**	0.042	-0.067
总糖含量 Total sugar content		1	0.058	0.324	-0.582**	0.040
总氮含量 Total nitrogen content			1	0.395*	-0.253	-0.025
钾含量 Potassium content				1	-0.159	0.266
氯含量 Chlorine content					1	-0.133
颜色值 Color value						1

注: \* 表示 2 个指标之间存在显著相关( $P < 0.05$ ); \*\* 表示 2 个指标之间存在极显著相关( $P < 0.01$ )。

Note: \* indicated that there was a significant correlation between the two indices ( $P < 0.05$ ); \*\* indicated there was an extremely significant correlation between the two indices ( $P < 0.01$ ).

该研究对比了不同模块 5 种调控因素对成品片烟质量均匀性的影响,也可引入其他理化指标。其他打叶复烤企业可以根据自身的工艺装备以及配打模块的原料质量特点选择适宜的调控因素,满足不同卷烟品牌的个性化均质化要求。

#### 参考文献

- [1] 杜文,易建华,黄振军,等. 打叶复烤烟叶化学成分在线检测和成品质量控制[J]. 中国烟草学报,2009,15(1):1-5.
- [2] 杜阅光,崔登科,程小东,等. 声光可调近红外光谱技术用于打叶复烤片烟化学成分均质化生产控制[J]. 红外技术,2012,34(10):614-618.
- [3] 杨凯,陈清,徐其敏,等. 打叶复烤配方均匀性控制模式研究[J]. 烟草科技,2012,45(12):14-17.
- [4] 王宏铝,王筑临,许小双,等. 基于在线烟碱预测模型的烟叶复烤均质化加工[J]. 烟草科技,2015,48(6):73-77.
- [5] 梁洪波,李念胜,元建,等. 烤烟烟叶颜色与内在品质的关系[J]. 中国烟草科学,2002,23(1):9-11.
- [6] 过伟民,张骏,刘阳,等. 烤烟质体色素及多酚与外观质量关系研究[J]. 中国烟草学报,2009,15(2):33-40.
- [7] 汤朝起,刘伟,潘红源,等. 烤烟外观质量的评价延伸指标与内在品质

的关系[J]. 烟草科技,2011,44(9):71-74.

- [8] 孙平,程森,窦玉青,等. 四川会东初烤烟叶外观质量与主要化学成分关系研究[J]. 中国烟草科学,2013,34(1):29-33.
- [9] 柳均,汪宏毅,覃光炯,等. 初烤烟叶空间颜色指标与化学成分关系的研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2019,34(2):284-289.
- [10] 尹旭,徐其敏,陈清,等. 带梗烟叶在线近红外检测模型的建立与应用研究[J]. 江西农业学报,2016,28(2):64-67.
- [11] 龚涛,卢敏瑞,李秋剑,等. 基于在线光谱模型的打叶复烤均质化研究[J]. 安徽农业科学,2021,49(5):181-184.
- [12] 杨凯,徐玮杰,张鑫,等. 一种烟叶颜色在线数值化识别方法:CN 201510133805.8[P]. 2015-06-17.
- [13] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法:YC/T 159—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [14] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法:YC/T 468—2013[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [15] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定 连续流动法:YC/T 161—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [16] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法:YC/T 162—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [17] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法:YC/T 217—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

(上接第 165 页)

#### 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第 23 卷 第 1 分册[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2020 年版一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020.
- [3] 陈芳有,陈志超,罗永明. 草珊瑚化学成分及生物活性研究进展[J]. 中国中药杂志,2022,47(4):872-879.
- [4] 李林轩,梁莹,覃霖,等. 药用植物草珊瑚快速繁殖体系的建立[J]. 江苏农业科学,2020,48(18):72-76.
- [5] 赵会芳,张习金,顾昌华. 草珊瑚的组织培养技术研究进展[J]. 农技服务,2017,34(4):21-22.
- [6] 韦颖文,黄金使,蔡玲,等. 不同贮藏方式对草珊瑚种子萌发的影响[J]. 广西林业科学,2016,45(4):462-464.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [8] 宋松泉,程红焱,龙春林,等. 种子生物学研究指南[M]. 北京:科学出版

社,2005.

- [9] 程继铭,闫兴富. 辽东栎种子的顽拗性——脱水和低温敏感性[J]. 广西植物,2019,39(12):1691-1701.
- [10] 王艳,李韶山,何军贤,等. 顽拗性黄皮种子脱水过程中活性氧清除酶活性的变化[J]. 植物生理学报,2001,27(1):81-86.
- [11] 伍贤进,宋松泉,钱春梅,等. 吸胀玉米种子脱水耐性变化与活性氧清除酶活性的关系[J]. 中山大学学报(自然科学版),2002,41(4):63-66.
- [12] 李磊,孙雪婷,张广辉,等. 脱水速率对顽拗性三七种子脱水敏感性和抗氧化酶活性的影响[J]. 种子,2014,33(12):1-5.
- [13] 李朋,唐安军,柳建平,等. 蒲葵种子脱水耐性及脱水对其膜脂过氧化物的影响[J]. 园艺学报,2011,38(8):1572-1578.
- [14] 王晓峰,傅家瑞. 芒果离体胚轴的脱水及贮藏研究[J]. 华南农业大学学报,1994,15(3):88-92.
- [15] 张鹏,宋博洋,吴灵东,等. 解除休眠的水曲柳种子对不同脱水条件的萌发和生理响应[J]. 林业科学,2017,53(3):60-67.
- [16] 张俊杰,柴胜丰,王满莲,等. 珍稀濒危植物金丝李种子脱水耐性和贮藏特性[J]. 广西植物,2019,39(2):199-208.