

紫外辐照 技术及应用

许春平 郑 凯 李宪亭 李天笑
李少平 王小明 司晓喜

著

Technology and Application of Ultraviolet Irradiation



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

紫外辐照 技术及应用

Technology and Application of
Ultraviolet Irradiation

许春平
郑 凯
李宪亭
李天笑
李少平
王小明
司晓喜
著

图书在版编目 (CIP) 数据

紫外辐照技术及应用/许春平等著. --北京: 中国轻工业出版社, 2019. 4

ISBN 978-7-5184-2197-8

I. ①紫… II. ①许… III. ①紫外辐射—外辐照—应用—烟草工业—研究 IV. ①TS4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 013995 号

责任编辑: 张 靓 马 骁

策划编辑: 张 靓 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 砚祥志远 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷:

经 销: 各地新华书店

版 次: 2019 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720×1000 1/16 印张: 10.5

字 数: 210 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-2197-8 定价: 56.00 元

邮购电话: 010-65241695

发行电话: 010-85119835 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

180969K1X101ZBW

前言

P R E F A C E

当紫外线辐照有机化合物时，其中的 C—N 键、C—O 键、C—C 键会吸收紫外线的能量，然后断裂，使有机物逐渐降解。有机物降解后使烟叶中的某些致香物质发生改变，同时也会影响香液和片基涂布液中的香味物质。烟叶经过紫外辐照时，大分子化合物降解、转化，导致一些香气前体物质等小分子化合物的积累，烟叶的内在品质会得到提高。紫外辐照对烟叶中的常规化学成分也会产生影响，使糖类物质提高，烟碱降低，减小烟支刺激性，使烟制品有更令人愉悦的香气。因此，紫外辐照可以起到明显的加速醇化、增香减害、改变常规化学成分的作用，从而提升烟叶的品质。

本研究详细论述了不产臭氧紫外辐照、臭氧处理及产臭氧紫外辐照对各香型各部位烟叶内在质量的影响，也进一步阐释了紫外辐照对制丝生产线的烟丝、烟香液及片基涂布液的质量影响和应用价值，还分析了紫外辐照对卷烟的物理指标和有害成分的影响，为紫外辐照在烟草行业的应用奠定了理论依据，也为新工艺、新产品开发提供技术支撑。

本书的具体编写分工如下：前言和第一部分由河南中烟工业有限责任公司许昌卷烟厂郑凯和李宪亭完成；第二部分和第三部分由郑州轻工业学院许春平完成；第四部分由郑州轻工业学院李天笑完成；第五部分由河南中烟工业有限责任公司许昌卷烟厂李少平、王小明和云南中烟技术中心司晓喜完成。本书在创作过程中，得到了河南中烟工业有限责任公司许昌卷烟厂和食品生产与安全河南省协调创新中心的出版基金资助，对此表示诚挚的谢意。王充、俞金伟、姜宇、孟丹丹、曲利利、孙懿岩等研究生在资料收集和写作方面做了很多协助工作，在此表示感谢。

由于时间仓促和作者水平有限，疏漏和错误之处在所难免，敬请读者不吝指正。

著者

第 1 部分 Part 1

紫外辐照对中间香型烟叶内在质量的影响

- 1 不产臭氧紫外辐照对中间香型烟叶内在质量的影响 / 5
 - 1.1 不产臭氧紫外辐照对贵州毕节上部叶内在质量的影响 / 5
 - 1.2 不产臭氧紫外辐照对贵州毕节中部叶内在质量的影响 / 10
 - 2 臭氧处理对中间香型烟叶内在质量的影响 / 15
 - 2.1 臭氧处理对贵州毕节上部叶内在质量的影响 / 15
 - 2.2 臭氧处理对贵州毕节中部叶内在质量的影响 / 19
 - 3 产臭氧紫外辐照对中间香型烟叶内在质量的影响 / 23
 - 3.1 产臭氧紫外辐照对贵州毕节上部叶内在质量的影响 / 23
 - 3.2 产臭氧紫外辐照对贵州毕节中部叶内在质量的影响 / 28
 - 3.3 产臭氧紫外辐照对贵州毕节下部叶内在质量的影响 / 31
-

第 2 部分 Part 2

紫外辐照对浓香型烟叶内在质量的影响

- 4 不产臭氧紫外辐照对浓香型烟叶内在质量的影响 / 37
 - 4.1 不产臭氧紫外辐照对河南许昌下部叶内在质量的影响 / 37
- 5 臭氧处理对浓香型烟叶内在质量的影响 / 41
 - 5.1 臭氧处理对河南许昌下部叶内在质量的影响 / 41
 - 5.2 臭氧处理对河南许昌上部叶内在质量的影响 / 44
- 6 产臭氧紫外辐照对浓香型烟叶内在质量的影响 / 47
 - 6.1 产臭氧紫外辐照对河南许昌下部叶内在质量的影响 / 47
 - 6.2 产臭氧紫外辐照对河南许昌上部叶内在质量的影响 / 50



6.3 产臭氧紫外辐照对河南许昌中部叶内在质量的影响 / 52

第 3 部分 Part 3

紫外辐照对清香型烟叶内在质量的影响

- 7 不产臭氧紫外辐照对清香型烟叶内在质量的影响 / 59
 - 7.1 结果与讨论 / 59
 - 7.2 小结 / 61
 - 8 臭氧处理对清香型烟叶内在质量的影响 / 63
 - 8.1 结果与讨论 / 63
 - 8.2 小结 / 65
 - 9 产臭氧紫外辐照对清香型烟叶内在质量的影响 / 66
 - 9.1 产臭氧紫外辐照对云南曲靖上部叶内在质量的影响 / 66
 - 9.2 产臭氧紫外辐照对云南曲靖中部叶内在质量的影响 / 69
 - 9.3 产臭氧紫外辐照对云南曲靖下部叶内在质量的影响 / 71
-

第 4 部分 Part 4

紫外和臭氧处理对烟用液品质的影响

- 10 臭氧处理对烟用香液品质的影响 / 77
 - 10.1 材料与方法 / 77
 - 10.2 结果与讨论 / 79
 - 10.3 小结 / 93
 - 11 产臭氧紫外辐照对薄片涂布液内在质量的影响 / 94
 - 11.1 材料、试剂与仪器设备 / 94
 - 11.2 实验方法 / 95
 - 11.3 结果与讨论 / 96
 - 11.4 小结 / 107
-



第 5 部分 Part 5

紫外辐照对烟丝质量、有害成分和物理指标的影响

- 12 产臭氧紫外辐照对制丝线不同工序处烟叶及烟丝质量的影响 / 113
 - 12.1 材料、试剂与仪器 / 113
 - 12.2 实验方法 / 114
 - 12.3 结果与讨论 / 115
 - 12.4 小结 / 146
- 13 紫外辐照对卷烟物理指标和有害成分的影响 / 149
 - 13.1 材料与方法 / 149
 - 13.2 实验方法 / 150
 - 13.3 结果与讨论 / 150
 - 13.4 小结 / 152
- 参考文献 / 153



第1部分 Part 1

紫外辐照对中间香型烟叶内在质量的影响

紫外线的波长介于 100~400nm，太阳光及人造光源都能产生紫外线。其中波长 200nm 以上紫外线不产生氧自由基，波长 200nm 以下则产生氧自由基，生成的氧自由基与氧分子结合产生 O₃。紫外线和 O₃ 具有强的氧化分解有机分子的能力，且两者同时使用可以达到相乘的作用。

当紫外线辐照有机化合物时，其中的 C—N 键、C—O 键、C—C 键会吸收紫外线的能量，然后断裂，同时强氧化性的羟基生成，使有机物逐渐降解。有机物降解后使烟叶中的某些致香物质发生改变，同时也会影响香液和片基涂布液中的香味物质。

烟草经过辐照可以加速醇化，并提升其吸食品质。烟叶的内在品质在很大程度上定位了烟叶的可用性及使用价值，决定烟叶内在品质的因素是烟叶的化学成分，含量和种类变化导致其吸食品质的不同。烟叶经过醇化发酵时，大分子化合物降解、转化，导致一些香气前体物质等小分子化合物的合成、积累，使其化学成分向有利于烟叶内在品质的方向变化，可用性更好、配方中的配比性提高。用紫外线加速烟叶发酵，可以缩短发酵周期 50%，同时降低了能源的消耗，提高了烟叶的质量。辐照处理能改善原烟的吸味，减少其青杂气，并增加其香气和浓度。用较高的剂量紫外照射烟梗，可以显著地提升它的水溶性总糖和多酚，提升它的品质，为提升其利用率提供一种新的工艺方法。

紫外辐照对烟叶中香味成分也有一定的影响。卷烟本身是一种嗜好品，它的价值在于能够给人以满足感，烟叶中的香味物质与卷烟的质量息息相关。烟叶中含有的酚酮、酚、酚酸、酚醛有着很强的挥发特性，在卷烟燃烧的过程中，这些物质会挥发、蒸发或者以其他的途径进入到烟气中，从而影响到卷烟的香气和香味。这些物质可能会使卷烟在抽吸过程中产生特殊的味道，从而降低烟支在抽吸时的协调性。用紫外辐照处理成熟期烤烟上部烟叶时，烟叶的多酚含量在一定程度上会有所上升，上升幅度与紫外辐照强度成正比相关。

紫外辐照对烟叶中的常规化学成分也会产生影响。烟叶的主要化学成分包括水溶性总糖、还原糖、烟碱、总钾以及总氯等。烟叶中有许多种糖类，其中水溶性糖、淀粉和果胶质等对烟叶品质有着较大的影响。烟支燃烧时，糖类会生成酸性成分，然后与烟叶中的碱性成分发生反应，这种反应发生时中和烟气之中的碱性成分，因而使烟支在燃烧时的酸碱度更靠近中性，减

小烟支刺激性，使烟制品有更令人愉悦的香气。

因此，紫外辐照可以起到明显的加速醇化、增香减害、改变常规化学成分的作用，从而提升烟叶的品质。目前紫外辐照对烟叶、烟丝、烟香液的作用还缺乏系统深入的研究。此外，紫外辐照在卷烟生产过程中工艺和应用问题也急需解决。卷烟的生产工艺决定着卷烟的质量。在卷烟生产过程中添加紫外辐照或臭氧处理的工艺流程，也可以显著提升卷烟的品质。本书详细论述了紫外辐照对各型烟叶、制丝生产线的烟丝、烟香液、片基涂布液及卷烟的物理指标和有害成分的影响，为紫外辐照在烟草行业的应用奠定了理论依据，也为新工艺、新产品开发提供技术支撑。

第1部分主要研究紫外辐照对中间香型烟叶内在质量的影响。结果表明，不产臭氧紫外辐照对中间香型烟叶处理1.5~2.0h效果较好，臭氧处理对中间香型烟叶处理1.5~2.0h效果好，产臭氧紫外处理时间缩短，1.0~1.5h即可达到最优效果。不产臭氧紫外辐照对中间香型的中部叶（糖碱比为12.15，比空白组提升60.9%）比上部叶（糖碱比为5.06，比空白组提升10.5%）效果好。臭氧处理对中间香型的中部叶（糖碱比为10.55，比空白组提升39.7%）比上部叶（糖碱比为4.89，比空白组提升7.9%）效果好。产臭氧紫外辐照对中间香型的中部叶（糖碱比为12.38，比空白组提升64.0%）比上部叶（糖碱比为5.62，比空白组提升24.1%）和下部叶（糖碱比为9.12，比空白组提升49.5%）效果好。

不产臭氧紫外辐照对中间香型烟叶内在质量的影响

本章利用感官评定、常规化学成分分析、香味成分分析等方法,研究了不产臭氧紫外辐照对产自贵州毕节的中间香型上部叶和中部内在质量的影响。结果表明,不产臭氧紫外辐照对中间香型上部烟叶处理 2.0h 效果较好,对中间香型中部烟叶处理 1.5h 效果最佳。总体而言,以常规化学成分变化特别是糖碱比为主要指标,不产臭氧紫外辐照对中间香型的中部叶(糖碱比为 12.15,比空白组提升 60.9%)比上部叶(糖碱比为 5.06,比空白组提升 10.5%)效果好。

1.1 不产臭氧紫外辐照对贵州毕节上部叶内在质量的影响

1.1.1 材料与仪器

材料:2013 年贵州毕节上部烟叶。

试剂如表 1.1 所示,均为分析纯。

表 1.1 试剂

试剂	厂家
二氯甲烷	天津市富宇精细化工有限公司
无水硫酸钠	天津市科密欧化学试剂有限公司
氯化钠	天津市永大化学试剂有限公司
标样化合物乙酸苯乙酯	北京百灵威科技有限公司

仪器如表 1.2 所示。

表 1.2 仪器

仪器	厂家
AA3 型连续流动分析仪	德国 SEAL Analytical 公司



续表

仪器	厂家
Agilent 6890GC/5973MS 气质联用仪	美国安捷伦 (Agilent) 公司
PHILIPS TUV 紫外灯 20W, 波长 254nm	雪莱特石英紫外灯, 不产臭氧
SY-111 型切丝机	河南富邦实业有限公司
LSB-5110 型低温冷却循环泵	郑州凯鹏实验仪器有限公司
LHS-50CL 型恒温恒湿箱	上海一恒科学仪器有限公司

1.1.2 实验方法

1.1.2.1 样品处理

取适量上述样品, 去除烟梗、杂物, 平衡 48h, 平衡环境: 温度 (22 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度保持在 60%。平衡后, 取适量各类型的样品, 用紫外 (20W, 波长 254nm) 辐照处理, 紫外灯与样品保持 30cm 的距离, 每片烟叶不重叠放置。处理时间分别为 0h、0.5h、1.0h、1.5h、2.0h, 然后将处理后的样品平衡 24h。处理过程如图 1.1 所示。

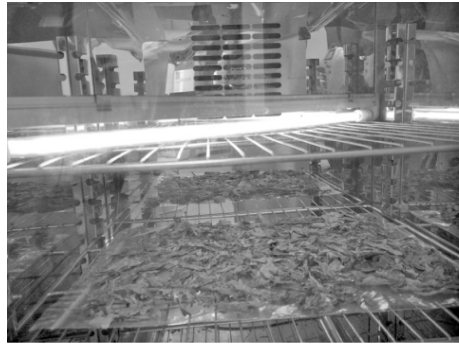


图 1.1 紫外辐照处理烟叶过程

1.1.2.2 感官评吸

将处理后的烟叶样品用切丝机切丝, 平衡 48h, 平衡环境: 温度保持在 (22 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度保持在 60%。分别按照每支烟总质量 (0.80 ± 0.01)g 的标准卷制样品。由 10 名评委组成评吸小组, 然后按照卷烟评析标准分别进行打分。感官质量评价标准如表 1.3 所示。

表 1.3 感官质量评价标准

香气质			香气量			浓度			柔细度			余味		
好	中等	差	足	中等	少	浓	中等	淡	细腻	中等	较粗糙	纯净	中等	差
9~8	7~3	2~1	9~8	7~3	2~1	9~7	6~4	3~1	9~7	6~4	3~1	9~7	6~4	3~1
刺激性			燃烧性			灰色			杂气			劲头		
小	中等	大	好	中等	差	白	灰	黑灰	小	中等	大	大	中等	小
9~7	6~4	3~1	7	5	3	7	5	3	9~7	6~4	3~1			



1.1.2.3 连续流动法测定常规化学成分

采用国标法，每个样品做3次平行试验，并用SPSS进行显著性分析。常规化学成分测定指标及方法如表1.4所示。

表 1.4 常规化学成分测定指标及方法

测定指标	方法
水溶性糖（总糖、还原糖）	《YCT 159—2002 烟草及烟草制品水溶性糖的测定连续流动法》
烟碱	《YCT 160—2002 烟草及烟草制品总植物碱的测定连续流动法》

1.1.2.4 GC-MS 测定香味成分

(1) 样品预处理 将处理后的样品粉碎成烟末，过60目筛，同时蒸馏萃取装置一端安装1000mL烧瓶，烧瓶内放入30g烟叶粉末样品、30g氯化钠、300mL蒸馏水，用电热套加热；另一端放一个小烧瓶，加入50mL的二氯甲烷，用60℃水浴加热，冷却水循环冷凝。待出现分层时开始计时，蒸馏萃取时间为2.5h，萃取完成后将小烧瓶取下冷却，加入适量无水 Na_2SO_4 ，1mL内标乙酸苯乙酯，放在4℃冰箱中过夜，第二天用40℃水浴浓缩到1mL，为GC-MS备用。

GC-MS分析条件如表1.5所示。

(2) 数据分析 通过GC-MS检测出总离子流图，利用图谱库（NIST 11）的标准质谱图对照，结合相关文献，人工查找并确定样品处理前后的香味成分，采用内标法（乙酸苯乙酯为内标）算出样品中各化学成分的含量。

表 1.5 GC-MS 分析条件

色谱条件			
载气	高纯氮气	流速	3mL/min
分流比	5 : 1	进样口温度	280℃
色谱柱	HP-5MS (60m×0.25mm, i. d. ×0.25μm d. f.)		
升温程序	起始温度 50℃ 保持 2min, 以 8℃/min 升至 200℃, 再以 2℃/min 升至 280℃ 保持 10min		
质谱条件			
四级杆温度	150℃	接口温度	270℃
离子化方式	EI	电子能量	70eV
离子源温度	230℃	质量扫描范围	35 ~ 550m/z



1.1.3 结果与讨论

1.1.3.1 不产臭氧紫外辐照对烟叶感官质量的影响

经不产臭氧紫外辐照的贵州毕节上部烟叶的感官评定结果如表 1.6 所示,结果显示:样品处理 2.0h 时烟叶的品质最佳。香气质显著升高,香气量稍微有所增加,烟气柔细度略微增加,劲头减小。

表 1.6 不产臭氧紫外辐照处理后贵州毕节上部烟叶的感官质量评分

编号	香气质	香气量	浓度	柔细度	余味	杂气	刺激性	劲头	燃烧性	灰色
空白	6.02	6.52	7.01	5.52	6.52	7.02	6.55	大	6.00	6.00
UV0.5h	6.03	6.65	7.02	5.58	6.53	7.01	6.54	大	6.00	6.00
UV1.0h	6.01	6.63	7.03	5.54	6.59	7.03	6.55	大	6.00	6.00
UV1.5h	6.29	6.62	7.01	5.76	6.52	7.03	6.55	中	6.00	6.00
UV2.0h	6.64	6.61	7.02	5.91	6.56	7.02	6.56	中	6.00	6.00

1.1.3.2 不产臭氧紫外辐照处理对烟叶常规化学成分的影响

常规化学成分结果如表 1.7 所示,结果显示:样品经紫外辐照处理后,总糖含量依次升高,在 2.0h 时含量最高;烟碱含量无显著变化;还原糖含量经处理后都有所升高,在 1.5h 和 2.0h 最高;糖碱比在 2.0h 时最高。

表 1.7 不产臭氧紫外辐照处理对贵州毕节上部烟叶常规化学成分的影响

编号	总糖含量/%	烟碱含量/%	还原糖含量/%	糖碱比
空白	14.57a	3.21a	11.57a	4.53a
UV0.5h	14.21a	3.20a	12.80b	4.44a
UV1.0h	15.10b	3.18a	12.96b	4.75a
UV1.5h	15.23b	3.15a	14.40c	4.83ab
UV2.0h	15.99c	3.16a	14.64c	5.06b

注:不同的小写字母表示差异显著。

1.1.3.3 不产臭氧紫外辐照处理对烟叶香味成分的影响

不产臭氧紫外辐照处理对样品香味成分的影响结果如表 1.8 所示。香味物质总体含量在 UV 处理 0.5h、1.0h、1.5h 时变化不明显,在 UV 处理 2.0h 时含量明显升高,香味物质含量(除新植二烯)比空白组香味物质含量提高 4.99%,新植二烯含量提高了 16.52%,总香味物质提升了 11.6%。

表 1.8 贵州毕节上部烟叶不产臭氧 UV 处理前后香味成分的变化 单位: $\mu\text{g/g}$

中文名	空白	UV0.5h	UV1.0h	UV1.5h	UV2.0h
苯甲醛	1.66	1.54	1.59	1.58	1.75
苯乙醛	2.63	2.70	2.26	2.98	2.94
芳樟醇	0.74	1.20	0.96	1.04	1.29
苯乙醇	3.48	4.15	4.00	3.73	4.63
β -大马酮	3.98	3.33	3.12	3.04	3.96
二氢猕猴桃内酯	13.19	10.36	7.15	10.38	12.66
巨豆三烯酮	83.74	84.19	88.13	81.26	82.28
3-羟基- β -半大马酮	8.85	7.37	4.99	7.82	8.79
α -紫罗兰酮	4.20	4.84	2.06	3.99	3.48
正二十六烷	2.42	—	2.66	—	1.53
乙酸苯甲酯	0.89	0.93	0.95	1.08	1.26
α -二氢大马酮	0.99	1.09	1.01	1.64	1.95
香叶基丙酮	3.04	3.14	3.15	3.69	3.86
乙酰吡咯	0.33	0.56	0.57	0.60	0.66
1,2,3,4-四甲基萘	—	0.85	0.64	—	—
茄酮	20.56	20.45	20.12	20.11	20.15
6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.83	0.82	0.81	0.75	0.77
十六酸乙酯	1.96	1.65	1.75	1.77	1.80
4-(3-羟基-1-丁基)-3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	—	—	1.27	1.58	1.53
糠醛	4.58	4.88	5	5.16	5.9
糠醇	9.26	9.87	9.99	10.56	14.11
β -二氢大马酮	2.41	2.52	2.50	2.48	2.49
二十烷	4.931	5.501	—	1.784	3.463
1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘	1.932	3.55	2.025	2.562	—
5-甲基糠醛	5.14	5.56	5.45	5.92	5.74
6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.60	1.70	1.62	1.67	1.63
苯甲醇	39.15	39.19	39.82	40.45	45.49
异戊酸	0.21	0.34	—	0.31	0.23
2-乙酰呋喃	0.52	0.65	0.63	0.63	0.68



续表

中文名	空白	UV0.5h	UV1.0h	UV1.5h	UV2.0h
苯乙酮	18.46	18.66	18.25	18.61	18.58
异佛尔酮	0.97	1.00	1.04	1.69	1.57
氧化异佛尔酮	0.56	0.50	0.46	0.48	0.41
1,2-甲基十四酸	0.66	0.75	0.48	0.44	0.65
2-乙酰基吡咯	0.42	0.42	0.44	0.23	0.25
2,3-二甲基吡嗪	0.10	0.12	0.14	0.15	0.11
新植二烯	329.58	354.67	330.61	369.63	384.03
总计(新植二烯除外)	244.39	244.38	235.04	240.16	256.59

注：“—”表示未检出。

1.1.4 小结

本节利用感官评定、常规化学成分分析、香味成分分析等方法，研究了不产臭氧紫外辐照对产自贵州毕节的中间香型上部叶内在质量的影响。结果表明，经不产臭氧紫外处理 2.0h 时，烟叶的品质达到最佳：香气质明显提高，香气量略有上升，烟气柔细度略增强，劲头降低；总糖、还原糖含量升高，糖碱比增大；香味物质总量紫外处理 2.0h 达到最大，比空白组提升了 11.6%。

1.2 不产臭氧紫外辐照对贵州毕节中部叶内在质量的影响

本节利用感官评定、常规化学成分分析、香味成分分析等方法，研究了不产臭氧紫外辐照对产自贵州毕节的中间香型中部叶内在质量的影响。结果表明，与上部叶相比，经不产臭氧紫外处理 1.5h，烟叶的品质即可达到最佳：香气质明显提高，香气量稍有上升，烟气柔细度稍增强；总糖、还原糖的含量相对升高，烟碱显著降低，糖碱比增大，比空白组提升 60.9%；香味物质总量处理 1.5h 增加最多，比空白组增加 15.8%。

试剂与仪器和实验方法同 1.1.1 和 1.1.2。

1.2.1 结果与讨论

1.2.1.1 不产臭氧紫外辐照对烟叶感官质量的影响

经不产臭氧紫外辐照的贵州毕节中部烟叶的感官评定结果如表 1.9 所示，