

网络出版时间:2021-02-02 10:48 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.08.006
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210201.1823.002.html

烤烟上部叶光合特性与单叶质量 叶位效应的聚类分析

雷 佳¹,叶卫国²,单雪华³,袁菲菲¹,梁剑雄¹,李淮源²,陈建军²

(1 广东中烟工业有限责任公司技术中心,广东 广州 510385; 2 华南农业大学 农学院,广东 广州 510642;
3 湖南省烟草公司 衡阳市公司,湖南 衡阳 421001)

[摘 要] **【目的】**探讨烤烟上部 8 片烟叶质量差异产生的生理机理,为指导上部叶采收调制以及工业企业在特定叶位挑选优质原料提供参考。**【方法】**以烤烟品种云烟 87 为材料,研究成熟期烤烟上部 8 片叶每位叶的光合特性和烤后烟叶单叶质量,并采用聚类分析法对光合特性相近的叶位进行分组,比较单叶质量与光合特性的叶位效应。**【结果】**随着叶位的降低,烤烟叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率明显下降,其中倒 3~8 位叶净光合速率较倒 1 叶显著降低了 9.79%~27.68%,但各叶位胞间 CO₂ 浓度差异不明显。对各叶位光合特性的聚类分析表明,上部 8 片叶可分为倒 1~2 叶、倒 3~5 叶、倒 6~7 叶和倒 8 叶 4 个叶组,其单叶质量分别为 8.68~8.79,9.86~10.05,10.32~10.43 和 10.80 g,组内差异不显著,不同组间差异显著,其叶位效应与光合特性的叶位效应相似。**【结论】**云烟 87 上部 8 片叶光合特性和单叶质量叶位效应相似,光合特性是烟叶质量差异形成的主要生理基础。

[关键词] 烤烟;上部 8 片叶;光合特性;单叶质量;聚类分析

[中图分类号] S572.01

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2021)08-0044-07

Cluster analysis of photosynthetic characteristics of upper leaves and leaf position effect of single leaf weight in flue-cured tobacco

LEI Jia¹, YE Weiguo², SHAN Xuehua³, YUAN Feifei¹,
LIANG Jianxiong¹, LI Huaiyuan², CHEN Jianjun²

(1 Technical Center of Guangdong Tobacco Industrial Limited Company, Guangzhou, Guangdong 510385, China;
2 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;
3 Hengyang Branch of Hunan Tobacco Company, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: **【Objective】** This study explored physiological basis of differences in quality of the eight leaves in the upper part of flue-cured tobacco to provide reference for harvesting, modulation and selection of high-quality raw materials for industrial enterprises in specific leaf positions. **【Method】** The flue-cured tobacco variety Yunyan 87 was selected to study photosynthetic characteristics and single leaf weight after roasting of top eight leaves. The leaf positions with similar photosynthetic characteristics were grouped by cluster analysis, and leaf position effects of single leaf weight and photosynthetic characteristics were compared. **【Result】** With the decrease of leaf position, net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of flue-cured tobacco leaves decreased significantly. The net photosynthetic rate of the invert-

[收稿日期] 2020-07-27

[基金项目] 广东中烟工业有限责任公司科技项目(2016440000340013);广东省烟草专卖局(公司)科技项目(2019440000200035);湖南省烟草公司衡阳市公司科研项目(201743040024098)

[作者简介] 雷 佳(1983—),男,湖南望城人,农艺师,硕士,主要从事烟叶生产与管理研究。E-mail:leinaia615@163.com

[通信作者] 陈建军(1965—),男,湖北黄梅人,教授,博士,博士生导师,主要从事烟草栽培生理生化研究。
E-mail:chenjianjun@scau.edu.cn

ed 3—8 leaves was significantly decreased by 9.79%—27.68% compared with that of the first leaf, but there was no significant difference in intercellular CO₂ concentration among leaves. Clustering analysis showed that the upper eight leaves could be divided into four leaf groups of inverted 1—2 leaves, inverted 3—5 leaves, inverted 6—7 leaves and inverted 8 leaves. The single leaf weights of these four groups were in the range of 8.68—8.79 g, 9.86—10.05 g, 10.32—10.43 g and 10.80 g, respectively. The differences were insignificant within same groups, but significant among different groups. The leaf position effect of single leaf weight was similar to that of photosynthetic characteristics. 【Conclusion】 The photosynthetic characteristics of the upper eight leaves of Yunyan 87 were similar to the leaf position effect of single leaf weight, that photosynthetic characteristics was the main physiological basis for formation of quality differences in tobacco leaves.

Key words: flue-cured tobacco; top eight leaves; photosynthetic characteristics; single leaf weight; cluster analysis

特色优质上部8片烟叶已成为双喜品牌卷烟主要的优质原料来源之一。目前由于上部8片叶不同叶位间生理特性差异较大,不但给生产上实现一次性成熟采收与调制增加了难度,而且也会使上部烟叶各个叶位烤后烟叶的等级结构差异显著^[1],或出现不同叶位同一等级烟叶内在化学成分、感官质量差异较大的现象^[2],不利于工业企业进行优质原料的筛选与使用。

光合作用是作物产量和质量形成的最重要生理过程之一,其强弱不仅与水分状况、叶片温度、CO₂供应浓度、营养供应和分配等多个因子显著相关,而且与叶位、叶龄密切相关^[3]。显然,烤烟上部8片叶各叶位叶片生理特性、质量和单叶质量差异形成的叶位效应,主要是因各叶片所接受的光照、通风、营养分配等条件的不同所致,直接或间接受到叶片光合特性的深刻影响,进而影响着叶片物质代谢过程,改变烟叶品质形成的某些过程,最终通过烟叶等级结构及感官质量的差异表现出来^[4-5]。因此研究烤烟不同叶位叶片的光合特性,可以为不同叶位烟叶间出现的质量差异提供机理解释。许多研究表明,烤烟烟叶的单叶质量和外观质量、化学成分均受到叶位的显著性影响,特别是烟株上部6片叶,其等级结构随叶位不同而呈现显著性差异^[6-12]。但这些关于烟叶不同叶位间差异的研究多集中在等级结构、物理特性以及化学成分的比较上,而有关以卷烟品牌需求为导向,探讨上部8片叶每片叶质量风格形成的生理机理研究报道极少。

单叶质量是反映烤烟上部叶质量的重要指标之一,其形成与烟叶光合特性密切相关^[13]。比较上部烟叶不同叶位的单叶质量,可反映出其光合特性的异同,同时也可以简单判断某些相邻叶位烟叶质量

的相似性。有报道指出,烤烟上部5片叶的单叶质量随叶位的升高而降低^[14-15],上部倒1叶单叶质量较低,倒2~6叶差异不显著^[16]。但也有研究认为,倒1~2叶单叶质量差异不显著,倒3~7叶单叶质量差异不显著,但与倒8叶单叶质量差异显著^[10]。可见,目前关于烤烟上部叶各叶位单叶质量的研究结论并不统一,为此,本研究通过对烤烟上部8片烟叶光合特性和单叶质量进行比较研究,探讨每片上部烟叶烤后品质差异产生的生理原因;同时采用聚类分析方法,将光合特性相似的叶位进行归类,利用单叶质量这一质量指标进行验证,试图为上部叶一次性成熟采收与科学调制,以及工业企业在特定叶位筛选合适的原料提供理论参考和实际指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)品种为云烟87,分别由湖南省烟草公司永州市公司、湖南省烟草公司衡阳市公司提供。

1.2 试验设计

试验于2017—2019年连续3年分别在湖南省永州市宁远县仁和镇陈普全村、湖南省衡阳市衡南县冠市镇合溪村进行。试验地土壤前茬为水稻,土壤基本理化性质为:pH 6.0,有机质 26.3 g/kg,全氮 3.2 g/kg,碱解氮 120.5 mg/kg,有效磷 6.4 mg/kg,速效钾 71.2 mg/kg,缓效钾 83.1 mg/kg。试验区面积为 750 m² (30 m×25 m),株行距为 0.6 m×1.2 m,田间设置 3 个 4 行测定区;每个测定区 200 株,四周设 2 行保护行。每区重复测定 3 次。2017—2019 年均于 3 月 10 日移栽,统一打顶,留叶 18 片,并对烟叶挂牌标记。试验施氮量为 150

kg/hm²,其他田间管理按照当地优质烟叶生产方案执行。

1.3 测定项目及方法

试验以烤烟上部 8 片叶为测定对象。

1.3.1 光合特性的测定 在 3 个 4 行测定区,每个测定区选择长势长相均匀一致、能够代表该点生长状况的烟株 3 株,打顶后每株自上而下标记倒数第 1~8 位叶。打顶 20 d 后,在每天上午 09:00—11:00,逐株逐叶测定各个叶位叶片光合参数,从第 1 株的倒 1 叶按顺序测到倒 8 叶,同样的顺序再测第 2 株的倒 1~8 叶,以此类推,连续测定 5 d 取平均值。净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)均采用美国 LI-Cor 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统测定,为了避免环境因素的影响,采用光合仪自带的 LED 红/蓝光源,人工控制光照强度为 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m} \cdot \text{s})$,CO₂ 浓度为 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,叶室温度为 30 $^{\circ}\text{C}$ 。测定每片叶约需时 1 min,72 片叶的整个测定过程约需 1.5 h,以尽量保证数据的稳定性。由于已通过人工控制叶室内的光照强度、CO₂ 浓度及温度,影响光合作用的主要环境因素仅是叶片温度,从测得数据看,测定过程的叶温为 31.8~33.6 $^{\circ}\text{C}$,差值小于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,可认为由叶温引起的光合差异极小,能保证本试验光合数据的准确性。

1.3.2 单叶质量的测定 按照《YC/T 142—2010 烟草农业性状调查测量方法》中关于“单叶重”的测定方法,分别测定上部 8 个叶位的单叶质量。

1.3.3 聚类分析 由于净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)4 个指标的量纲不同,需先对这 4 个指标进行降维,即主因子分析,然后再通过欧氏距离法对上部 8 片叶的光合特性进行聚类分析。具体可参考吕鹏辉等^[17]和

郭建华等^[18]的方法。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 对试验数据进行单因素方差分析和聚类分析。

2 结果与分析

2017—2019 年连续 3 年两地主要研究结果趋势类似,限于篇幅,本研究主要报道 2019 年永州市宁远县的试验结果。

2.1 烤烟上部 8 片叶光合特性的比较

由表 1 可见,随着叶位的降低,烤烟叶片的净光合速率明显下降。倒 1~2 叶净光合速率最高,分别达到了 24.42 和 23.44 $\mu\text{mol}/(\text{m} \cdot \text{s})$,且两者差异不显著;倒 3~5 位叶间净光合速率差异不显著,但较倒 1 叶显著降低了 9.79%~15.48%;倒 6~8 位叶的净光合速率差异不显著,但与倒 1~2 叶和倒 3~4 叶差异显著,且较倒 1 叶显著降低了 21.05%~27.68%。上部 8 片叶间的胞间 CO₂ 浓度为 286.29~308.63 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,差异不显著。可见,叶位间的差异主要影响了烟叶的净光合速率,对胞间 CO₂ 浓度影响较小。随着叶位的降低,上部 8 片叶的气孔导度和蒸腾速率均明显下降。倒 1~2 叶气孔导度差异不显著;倒 3~5 叶差异也不显著,但较倒 1 叶显著下降了 15.92%~20.23%;倒 6~7 叶差异不显著,但与倒 1~2 叶、倒 3~5 叶和倒 8 叶差异显著,且较倒 1 叶显著下降了 27.91%~28.55%;倒 8 叶气孔导度最小。对于蒸腾速率,倒 1~2 叶、倒 3~6 叶和倒 5~7 叶间差异不显著,但随着叶位间距的增大,这 3 组叶间及与倒 8 叶间的差异均达到了显著水平。可见,上部 8 片叶的气孔导度和蒸腾速率由于叶位间距的增大,叶片相互间的差异开始变得明显。

表 1 烤烟上部 8 片叶光合特性的比较

Table 1 Comparison of photosynthetic characteristics among the top eight leaves

叶位 Leaf position	$P_n/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$C_i/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	$G_s/$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$T_r/$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	24.42±0.78 a	293.00±8.20 a	60.55±3.23 a	4.58±0.11 a
2	23.44±0.53 a	302.63±7.90 a	57.28±2.02 a	4.51±0.08 a
3	22.03±0.56 b	286.29±13.26 a	48.30±2.11 b	4.28±0.06 b
4	21.11±0.50 b	299.43±7.13 a	50.91±3.37 b	4.31±0.10 b
5	20.64±0.64 bc	295.86±12.86 a	50.90±3.16 b	4.20±0.06 bc
6	19.28±1.08 c	297.50±8.00 a	43.65±1.03 c	4.18±0.13 bc
7	19.10±1.13 c	308.63±10.69 a	43.26±1.72 c	4.09±0.07 c
8	17.66±1.06 c	297.38±5.33 a	36.30±2.10 d	3.86±0.09 d

注:叶位 1~8 表示从烟株顶部往下标记的第 1~8 片叶。表中数据为 3 次重复的“平均值±标准误”,同列数据后标不同小写字母表示差异显著(Duncan’s 法, $P<0.05$)。

Note: Leaf positions 1—8 indicate the 1—8 leaf marked form the top of tobacco plant. The data in the table are “average value±standard error” of three repetitions, different lowercase letters indicate significant differences (Duncan’s method, $P<0.05$).

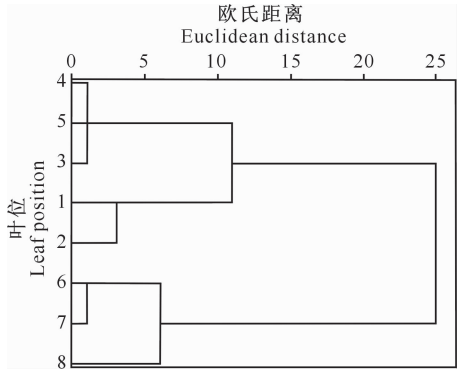
2.2 烤烟上部 8 片叶光合特性的聚类结果

从图 1 可见,在欧氏距离为 5 时,聚类效果较好,同时结合表 2 发现,烤烟上部 8 片叶可分为 4 组,其中倒 1~2 叶属于第Ⅰ组,该组叶片具有高强度的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率;倒 3~5 叶属于第Ⅱ组,该组烟叶具有中等强度的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率;倒 6~7 叶属于第Ⅲ组,该组烟叶具有低强度的净光合速率、较低强度的气孔导度和蒸腾速率;倒 8 叶则属于第Ⅳ组,该组烟叶的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均较低。同时,上部 8 片叶的共同特征是具有相同强度的胞间 CO₂ 浓度。可见,由于叶位的不同,成熟期烤烟上部 8 片叶的光合特性分层特征明显。

2.3 烤烟上部 8 片叶烤后单叶质量的比较

由图 2 可以看出,随着叶位降低,叶片的单叶质量明显呈现出升高趋势。根据单叶质量的方差分析结果,可以将 8 个叶位分成 4 组:倒 1~2 叶、倒 3~5 叶、倒 6~7 叶、倒 8 叶,组内差异不显著,不同组间差异显著。这 4 组叶片的单叶质量分别为 8.68~

8.79,9.86~10.05,10.32~10.43 和 10.80 g,达到了优质烟叶的要求。上部 8 片叶的单叶质量表现出的这种规律,可能也存在于烟叶的其他质量指标中。



叶位 1~8 分别表示从烟株顶部往下标记的第 1~8 片叶。图 2 同
Leaf positions 1—8 indicate the 1—8 leaf marked from the top
of tobacco plant. The same in Fig. 2

图 1 烤烟上部 8 片叶光合特性的聚类结果

Fig. 1 Clustering results of photosynthetic characteristics
of the top eight leaves

表 2 烤烟上部 8 片叶光合特性的聚类分析

Table 2 Clustering results of photosynthetic characteristics of the top eight leaves

组别 Group	光合特性 Photosynthetic characteristics			叶位 Leaf position
	<i>P_n</i>	<i>G_s</i>	<i>T_r</i>	
Ⅰ	高 Maximum	高 Maximum	高 Maximum	1~2
Ⅱ	中 Middle	中 Middle	中 Middle	3~5
Ⅲ	低 Minimum	较低 Minor	较低 Minor	6~7
Ⅳ	低 Minimum	低 Minimum	低 Minimum	8

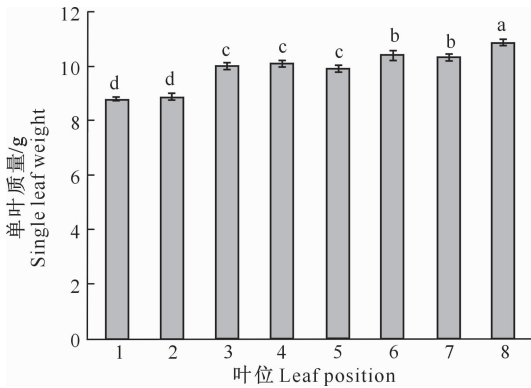


图 2 烤烟上部 8 片叶烤后单叶质量的比较

Fig. 2 Comparison of single leaf weight of the top eight
leaves of tobacco after curing

3 讨论与结论

随着烟叶原料成本控制及未来高端卷烟对原料需求的精准性等要求的提高,对不同叶位烟叶质量特征及使用价值进行精准定位研究显得尤其重要。

作物单作群体不同空间层次的叶片,一般随着叶位降低,光合有效辐射、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率都会逐渐下降,但胞间 CO₂ 浓度的变化方向不尽相同^[19]。本研究表明,在烤烟倒数第 1~8 位叶,随着叶片着生位置的降低,叶片净光合速率下降,但胞间 CO₂ 浓度无显著性变化,表明不同作物叶片的光合特性随叶位变化存在一定差异。许大全^[20]指出,只有当净光合速率和胞间 CO₂ 浓度的变化方向一致,即两者同时减少时,才可认为净光合速率的下降主要是由气孔限制引起的,否则归因于非气孔限制。根据该判断可知,本研究烤烟倒 1 叶至倒 8 叶净光合速率的下降,主要是由非气孔限制所引起,即主要与叶肉细胞的羧化能力较低有关。有研究指出,气孔导度的降低会导致净光合速率下降^[21-22],而本试验中的气孔导度和净光合速率虽然均随叶位降低而降低,存在一定程度的气孔限制,但结合胞间 CO₂ 浓度的变化方向来判断,非气孔限制才是导致本试验烟叶净光合速率明显下降的主要原因,这与

司力珊等^[23]对茄科作物辣椒的研究结论一致。苏贤坤等^[24]研究烤烟各部位叶片的光合特性和相关酶活性的差异时同样指出,随着叶位降低,叶片叶绿素以及与光合相关酶的活性明显降低,最终导致净光合速率下降,但其选取的烤烟部位间隔相距较大。由此来看,由叶位降低而引起的净光合速率下降的生理原因尚需进一步研究。

光合作用是叶片内含物形成的生理基础,直接决定着叶片单叶质量的大小^[13]。谢已书等^[16]研究表明,在烤烟上部倒 1~6 叶中,倒 1 叶的单叶质量与其他叶位叶片差异显著,而倒 2~6 叶间差异不显著。段树苍等^[10]则认为,丽江烤烟倒 1~8 叶的单叶质量可以分成倒 1~2 叶、倒 3~7 叶、倒 8 叶 3 组,且组内差异不显著、不同组间差异显著。本研究根据单叶质量方差分析结果,将 8 个叶位分成倒 1~2 叶、倒 3~5 叶、倒 6~7 叶和倒 8 叶 4 组,也是组内差异不显著、不同组间差异显著。这可能是由于单叶质量会受到生态环境和农艺栽培措施等的影响^[25],也说明了生产上可以通过栽培措施的调控,使上部烟叶不同叶位的单叶质量达到预期的要求。

单叶质量与烟叶内在化学成分和外观质量均有密切的关系^[25]。有研究表明,烟叶的单叶质量与总糖和还原糖呈负相关,与烟碱和总氮呈正相关^[26],大部分中性香气物质含量在上部叶单叶质量处于 12~15 g 时达到最高值,超出这一范围后随着单叶质量增加而降低^[27];随着上部烟叶单叶质量的增加,烟叶颜色由深至浅,由棕红色过渡至柠檬黄色,烟叶油分、色泽、叶片结构、厚度等指标也均随单叶质量的提高而提升^[28],这说明利用单叶质量这一指标对烟叶总体质量进行初步判断的可行性。本研究通过方差分析,将 8 个叶位烟叶的单叶质量分成了 4 组,根据单叶质量与烟叶质量间存在的密切关系,判断上部 8 片叶的总体质量特征可能也符合这一分组规律。

单叶质量可反映上部 8 片叶不同叶位间质量特征的异同,而对上部 8 片叶的光合特性进行聚类分析,则可从生理特性的角度明确不同叶位具有的相似性,这对于指导一次性采收和按照生理特征进行分组烘烤,以及在特定叶位挑选能满足工业需求的烟叶均具有重要意义。目前研究结果多以上部 6 片叶一次性采收为主^[29-31]。也有研究认为,上部 5~8 片叶^[32]、上部 4~6 片叶^[33]、上部 4 片叶^[34]、上部 5 片叶^[14]一次性采收或顶部 1~2 片叶不采收^[35]等采收方式较好,而黄浩等^[36]对比上部 4 片叶、5 片叶和

6 片叶一次性带茎烘烤后的烟叶发现,上部 6 片叶一次性采收的烤后烟叶具有更好的外观质量和经济效益。本研究发现上部倒 8 片叶可以分为 4 组,而倒数第 1~2 位叶和倒数第 3~5 位叶虽然可以细分为第 I 组和第 II 组,但相对于其他叶位的叶片,两者的生理特征比较相近,因此从生理基础上推断上部最终留 5 片叶比较符合采收的标准。

由于非气孔限制,上部 8 片叶净光合速率随叶位的降低而降低,同时按光合特性与单叶质量的差异进行比较分组,结合生理与质量两个方面认为,在烤烟上部 8 片叶中,倒 1~2 叶、倒 3~5 叶、倒 6~7 叶和倒 8 叶分属 4 组叶,同组烟叶内各个叶位差异较小,这为指导上部叶成熟采收与调制以及工业企业在特定叶位筛选合适的原料提供了依据。

[参考文献]

- [1] 石锦辉,黄景崇,陈建军,等. 指示叶片成熟度对一次性采收的上部烟叶可用性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2017, 56(21): 101-4105.
Shi J H, Huang J C, Chen J J, et al. Effects of harvesting maturity of indicative leaves on availability of once harvested upper leaves in flue-cured tobacco [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(21): 4101-4105.
- [2] 陈伟,黄全康,杨云高,等. 不同生态条件下初烤烟叶化学成分的变化 [J]. 贵州农业科学, 2002, 30(6): 36-39.
Chen W, Huang Q K, Yang Y G, et al. Changes in chemical composition of junior tobacco leaf under different ecological conditions [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2002, 30(6): 36-39.
- [3] 李旭华,何传国,陈建军,等. 广东浓香型特色烟叶关键生产技术理论与应用 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 2011.
Li X H, He C G, Chen J J, et al. The theory and application of the key production technology of Guangdong mellow type tobacco [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2011.
- [4] 陈建军,邱妙文,陈俊彪,等. 广东浓香型烟叶风格特色定位及其生理基础研究 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 2019.
Chen J J, Qiu M W, Chen J B, et al. Study on the characteristics and physiological basis of mellow type tobacco in Guangdong Province [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2019.
- [5] 叶卫国,雷佳,李淮源,等. 减氮增密对烤烟光合特性及烟叶结构的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2018, 41(5): 817-824.
Ye W G, Lei J, Li H Y, et al. Effects of nitrogen-saving and density-increasing on photosynthetic characteristics and leaf structure of flue-cured tobacco [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2018, 41(5): 817-824.
- [6] 赵献章,刘国顺,杨永锋,等. 不同叶位烤烟叶片主要物理性状和化学品质的差异分析 [J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(3):

- 230-233.
- Zhao X Z, Liu G S, Yang Y F, et al. The difference analysis of main physical property and main chemical components of leaves from different flue-cured tobacco leaf position [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2006, 40(3): 230-233.
- [7] 邵惠芳, 陈红丽, 姬小明, 等. 烤烟不同叶位烤后烟叶主要矿物质营养含量差异研究 [J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(4): 618-622.
- Shao H F, Chen H L, Ji X M, et al. The difference in accumulation of main mineral nutrients of flue-cured tobacco leaves at different position [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2008, 30(4): 618-622.
- [8] 高家合, 秦西云, 李金平, 等. 烤烟不同叶位叶片的化学成分变化规律研究 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 183-186.
- Gao J H, Qin X Y, Li J P, et al. Study on the change of chemical components in different leaf-position leaf blades of flue-cured tobacco [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(3): 183-186.
- [9] 李跃平, 徐兴阳, 高福宏, 等. 烤烟成熟鲜烟叶 10 种化学成分受海拔与叶位的影响研究 [J]. 西南农业学报, 2012, 25(5): 1620-1624.
- Li Y P, Xu X Y, Gao F H, et al. Study on 10 chemical components of fresh mature tobacco leaves impacted by leaf positions and altitudes [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(5): 1620-1624.
- [10] 段树苍, 李成杰, 方志存, 等. 丽江烤烟烟叶叶位间单叶重、外观等级的分析 [J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2011, 26(S2): 53-57.
- Duan S C, Li C J, Fang Z C, et al. The analysis of single-leaf weight, appearance between flue-cured tobacco leaf position on the stem in Lijiang [J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science Edition), 2011, 26(S2): 53-57.
- [11] 方志存, 李佛琳, 李成杰, 等. 丽江烤烟烟叶叶位间化学成分分析 [J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2011, 26(S2): 35-40.
- Fang Z C, Li F L, Li C J, et al. The chemical composition analysis of flue-cured tobacco leaves between positions on the stem in Lijiang [J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science Edition), 2011, 26(S2): 35-40.
- [12] 邓 超, 董召荣. 南丹地区烤烟不同叶位化学成分差异分析 [J]. 安徽农学通报, 2009, 15(13): 88-89.
- Deng C, Dong Z R. Initially analysis of the chemical composition difference from different flue-cured tobacco position [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(13): 88-89.
- [13] 陈建军, 吕永华, 王 维. 烟草品质生理及其调控研究 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2009.
- Chen J J, Lü Y H, Wang W. Studies on tobacco quality physiology and its regulation [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2009.
- [14] 谢鹏飞, 周 辉, 李 帆, 等. 不同采收方式对 G80 上部叶质量及经济效益的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8401-8403.
- Xie P F, Zhou H, Li F, et al. Effects of different harvesting ways on quality and economic benefit of upper leaves of G80 [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(16): 8401-8403.
- [15] 刘 丽, 叶为民. 烤烟田间多打脚叶和顶叶对不同叶位单叶重的影响 [C]//中国烟草学会. 中国烟草学会 2016 年度优秀论文汇编: 烟草农业主题. 北京: 中国烟草学会, 2016: 225-240.
- Liu L, Ye W M. Effects of removing bottom and top leaves at growth stage on weight per leaf at different positions of plant in flue-cured tobacco [C]//China Tobacco Society. Collection of outstanding papers of China Tobacco Society in 2016: the theme of tobacco agriculture. Beijing: China Tobacco Society Press, 2016: 225-240.
- [16] 谢已书, 袁黔华, 邱 昆, 等. 不同成熟度上部叶一次性砍烤对烟叶品质及可用性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2013, 52(20): 4970-4974.
- Xie Y S, Yuan Q H, Qiu K, et al. Effects of different maturity on the usability and quality of the flue-cured tobacco upper leaves under one-time harvest and curing [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(20): 4970-4974.
- [17] 吕鹏辉, 叶协锋, 岳东林, 等. 主成分分析和聚类分析在烟叶全面质量评价中的应用 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(19): 5163-5165.
- Lü P H, Ye X F, Yue D L, et al. The application of the principal component analysis and cluster analysis in overall quality evaluation of tobacco [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(19): 5163-5165.
- [18] 郭建华, 宋纪真, 王广山, 等. 基于主成分分析和聚类分析的烟叶物理特性区域归类 [J]. 烟草科技, 2014, 49(8): 14-17.
- Guo J H, Song J Z, Wang G S, et al. Regional classification according to physical properties of tobacco leaves based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Tobacco Science & Technology, 2014, 49(8): 14-17.
- [19] Jin S H, Wang P M, Zhao K, et al. Characteristics of gas exchange and chlorophyll fluorescence in different position leaves at booting stage in rice plants [J]. Rice science, 2004, 11(5/6): 283-289.
- [20] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题 [J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- Xu D Q. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis [J]. Plant Physiology Communications, 1997, 33(4): 241-244.
- [21] Chen L S, Qi Y P, Jiang H X, et al. Photosynthesis and photo-protective systems of plants in response to aluminum toxicity [J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(54): 9237-9247.
- [22] Lu C M, Qiu N W, Wang B S, et al. Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte *Suaeda salsa* [J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(383): 851-860.
- [23] 司力珊, 高丽红, 于恩晶, 等. 整枝方式对日光温室甜椒(彩色)

- 光合特性及干物质分配的影响 [J]. 中国蔬菜, 2009(14): 33-37.
- Si L S, Gao L H, Yu E J, et al. Effect of pruned methods on photosynthesis and distribution pattern of assimilate of sweet pepper in solar greenhouse [J]. China Vegetables, 2009(14): 33-37.
- [24] 苏贤坤, 陈 松, 张国平. 不同烤烟品种叶片光合特性和相关酶活性的叶位差异性分析 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(5): 537-542.
- Su X K, Chen S, Zhang G P. Difference among leaves located on different plant positions in photosynthetic properties and relevant enzyme activities in three tobacco cultivars [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2009, 35(5): 537-542.
- [25] 王杉杉, 范艺宽, 朱金峰, 等. 关于烤烟单叶重的研究进展 [J]. 江西农业学报, 2015, 27(11): 27-30.
- Wang B B, Fan Y K, Zhu J F, et al. Research progress in single-leaf weight of flue-cured tobacco in China [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2015, 27(11): 27-30.
- [26] 杨庆民, 刘大双, 代惠娟, 等. 烤后原烟物理性状与化学成分的相关分析 [J]. 中国烟草科学, 2013, 34(2): 5-9.
- Yang Q M, Liu D S, Dai H J, et al. Correlation analysis between chemical components and physical properties in flue-cured tobacco leaves [J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(2): 5-9.
- [27] 邱慧慧, 史宏志, 张国显, 等. 浓香型烤烟叶片单叶重与中性香气成分含量的关系研究 [J]. 中国烟草学报, 2011, 17(1): 14-18.
- Qiu H H, Shi H Z, Zhang G K, et al. Relation between leaf weight and neutral aroma components content in full aroma style flue-cured tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(1): 14-18.
- [28] 肖吉中, 江锡瑜, 黄立栋, 等. 烤烟叶片重量与质量关系的初步研究 [J]. 烟草科技, 1995, 48(2): 30-32.
- Xiao J Z, Jiang X Y, Huang L D, et al. A preliminary study on the relationship between leaf weight and quality of flue-cured tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 1995, 48(2): 30-32.
- [29] 彭玉富, 邵海民, 王根发, 等. 一次采收对烤烟上部叶成熟度及烟碱和去甲基烟碱含量的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(3): 295-298.
- Peng Y F, Gao H M, Wang G F, et al. Effects of picking six upper leaves at the same time on maturity, nicotine and nor-nicotine content of flue-cured tobacco [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2016, 50(3): 295-298.
- [30] 陈 刚, 周清明, 杨姣弟, 等. 采收方式和成熟度对上部烟叶细胞结构及品质的影响 [J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 34-39.
- Chen G, Zhou Q M, Yang J D, et al. Study on the effect of plucking methods and maturity on the cellular structure and quality of tobacco upper leaves [J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5): 34-39.
- [31] 陈振国, 李建平, 孙光伟, 等. 烤烟上部 6 片叶不同采收方式对产量及品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(6): 2522-2526.
- Chen Z G, Li J P, Sun G W, et al. Effects of different picking method on yield and quality of upper 6 leaves in flue-cured tobacco [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(6): 2522-2526.
- [32] 何承刚. 烤烟新品种 K326 不同采收方式和采收时期对上部叶产量和品质的影响研究 [J]. 种子, 2005, 24(6): 75-76.
- He C G. Effects of harvesting ways or time on yield and quality of upper leaves of K326 [J]. Seed, 2005, 24(6): 75-76.
- [33] 张永辉, 罗定棋, 顾 勇, 等. 烤烟上部叶 4~6 片一次性采收技术在泸州烟区的应用效果 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45(18): 81-82.
- Zhang Y H, Luo D Q, Gu Y, et al. Application effects of one-time plucking and curing technology on 4-6 upper leaves of flue-cured tobacco in Luzhou tobacco areas [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(18): 81-82.
- [34] 蒋博文, 马留军, 陈小翔, 等. 上部烟叶带茎烘烤过程中呼吸强度及水分、色素含量的变化 [J]. 河南农业科学, 2018, 47(1): 145-149.
- Jiang B W, Ma L J, Chen X X, et al. Dynamic changes of respiration intensity, water and pigment contents in flue-curing of upper tobacco leaves with stalk [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2018, 47(1): 145-149.
- [35] 韩治建, 牛瑜德, 杨宏星, 等. 不同打叶数量对秦巴山地烤烟等级结构及工业可用性的影响 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(31): 27-32.
- Han Z J, Niu Y D, Yang H X, et al. Effect of removed leaves numbers on hierarchical structure and industrial availability of tobacco in Qin-ba mountains [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(31): 27-32.
- [36] 黄 浩, 周冀衡, 王卫民, 等. 带茎烘烤对宁乡烟区烤烟上部叶产量和质量的影响 [J]. 南方农业学报, 2014, 45(8): 1457-1460.
- Huang H, Zhou J H, Wang W M, et al. Effects of curing with stalk on yield and quality of flue-cured tobacco upper leaves in Ningxiang district [J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(8): 1457-1460.