

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 12 期 Vol.33 No.12 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 12 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的 5.5 kaB. P. 以来的气候变化 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites. chenjw@163. com

DOI: 10.5846/stxb201204030465

陈伟,熊晶,陈懿,潘文杰,李智勇. 气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响. 生态学报, 2013, 33(12): 3865-3877.

Chen W, Xiong J, Chen Y, Pan W J, Li Z Y. Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3865-3877.

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和 表面提取物含量的影响

陈 伟¹, 熊 晶², 陈 懿¹, 潘文杰¹, 李智勇^{3,*}

(1. 贵州省烟草科学研究院, 贵阳 550081; 2. 贵州省威宁县烟草分公司, 威宁 553100;

3. 贵州省烟草公司, 贵阳 550003)

摘要:选择贵州生态条件差异较大的威宁县、开阳县和天柱县进行客土田间小区试验,以云烟 85 为材料,探讨气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响。结果表明:类胡萝卜素和表面提取物含量受生态条件的影响较大,地域性差异显著,打破犁底层耕作方式无明显作用。类胡萝卜素含量有随海拔高度增加而升高的趋势,但海拔高度的影响存在阈值效应;清香型烟叶的表面提取物含量明显高于中间香型。不同生态因子的影响程度明显不同,气候是关键生态影响因子。类胡萝卜素含量气候间的变异度是土壤的 2—3 倍,气候对 β -胡萝卜素与叶黄素含量变异的贡献率分别为 74% 和 64%,土壤贡献率分别为 9% 和 12%。影响较大的前 3 个气候因子为大田生长前期的累积日照时数和累积降水量、成熟期的相对湿度,前 3 个土壤因子为有效钾、pH 值和有效磷。表面提取物含量气候间的变异度是土壤的 3—4 倍,气候对腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量变异的贡献率分别为 61% 和 63%,土壤贡献率分别为 13% 和 7%。影响腺毛分泌物含量的前 3 个气候因子为大田生长前期的平均气温、成熟期的相对湿度和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温,前 3 个土壤因子为有效钾、有效铜含量和 pH 值。烷烃类蜡质含量的前 3 个气候影响因子为大田生长前期的累积降水量和平均气温、成熟期的平均气温,前 3 个土壤因子为有效锰、有效磷含量和阳离子交换量。土壤因子对烤后烟叶类胡萝卜素含量部位特征的影响较气候因子突出,气候因子对表面提取物含量部位特征的影响较土壤因子明显。

关键词:气候;土壤;烤后烟叶;类胡萝卜素;表面提取物

Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves

CHEN Wei¹, XIONG Jing², CHEN Yi¹, PAN Wenjie¹, LI Zhiyong^{3,*}

1 Guizhou Tobacco Institution, Guiyang 550081, China

2 Guizhou Weining Municipal Tobacco Company, Weining 553100, China

3 Guizhou Tobacco Company, Guiyang 550003, China

Abstract: A field plot experiment with the soils from Weining, Kaiyang and Tianzhu in Guizhou, where are strikingly different ecological regions. The effects of soil and climate on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves were studied by using flue-cured variety of Yunyan 85 as the test material. Results showed ecological conditions had notable effects on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves. The geographic difference of the carotenoid and cuticular extract content was significant, but the tillage method of breaking down plowpan had no obvious effect. The carotenoid content showed the tendency of increase with the elevation increasing, besides, the altitude's

基金项目:国家烟草专卖局科技重大专项(Ts-02-20110015);贵州省烟草专卖局科技重大专项(2007-04)

收稿日期:2012-04-03; **修订日期:**2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: izey@gz-tobacco.gov.cn

threshold effect existed. The cuticular extract content of the clear flavour tobacco was higher than that of the moderate aroma tobacco. The influence degree of different ecological factors on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves was distinctly different. Climate was the key ecological element which affecting the carotenoid and cuticular extract content. The variability of carotenoid content among climate factors was 2—3 times higher than the variability among soil factors. The contributing rate of climate to the variation of β -carotene and lutein content was 74% and 64% respectively. The contributing rate of soil to the variation of β -carotene and lutein content was respectively 9% and 12%. The amount of sunshine hours and cumulative rainfall at the earlier growing stage in field, and the daily mean relative humidity at maturing stage were the top three climate factors affecting the carotenoid content of cured tobacco leaves. The available potassium, pH and available phosphorus were the top three soil factors affecting the carotenoid content. The variability of the cuticular extract content among climate factors was 3—4 times higher than the variability among soil factors. The contributing rate of climate to the variation of trichome secretion and alkane waxiness content was 61% and 63% respectively. The contributing rate of soil to the variation of trichome secretion and alkane waxiness content was respectively 13% and 7%. The average temperature at the earlier growing stage in field, the relative humidity and $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature at maturing stage were the top three climate factors affecting the trichome secretion content of cured tobacco leaves. The available potassium, available cuprum and pH were the top three soil factors affecting the trichome secretion content. The cumulative rainfall and average temperature at the earlier growing stage in field, the average temperature at maturing stage were the top three climate factors affecting the alkane waxiness content of cured tobacco leaves. The available manganese, available phosphorus and cation exchange capacity were the top three soil factors affecting the alkane waxiness content. The effect of soil factors on the stalk position character of the carotenoid content was more remarkable than the effect of climate factors. However, the effect of climate factors on the stalk position character of the alkane waxiness content was more obviously than the effect of soil factors.

Key Words: soil; climate; cured tobacco leaves; carotenoid; cuticular extract

类胡萝卜素是影响烟叶品质和香气风格的主要成分之一,其相关降解产物与烟叶的香气质和香气量密切相关^[1]。烟草叶面分泌物约占鲜叶重的 0.5%—10%,是烟草香味和香气组分的重要前体物^[2-3]。烤烟类胡萝卜素和表面提取物含量不仅受制于种质遗传组成的影响,而且与生态条件和栽培措施有着十分密切的联系^[4]。对烟叶类胡萝卜素和表面提取物的研究在国内外烟草行业一直是一个热点。近年来,科技工作者就综合生态因素对烤烟类胡萝卜素及表面提取物的影响进行了研究^[5-10],但这些研究偏重于不同生态区域的本身差异。气候和土壤是主要的生态因素,二者的影响程度(贡献率)不同,有关气候和土壤对烤烟类胡萝卜素及表面提取物的影响强弱,以及哪些是主导影响因子等研究尚未见报道。 β -胡萝卜素和叶黄素是烤后烟叶中类胡萝卜素的主要成分^[11],烤烟表面提取物主要成分是腺毛分泌物和烷烃类^[12-13]。本研究将贵州省不同烟叶典型产区(生态条件差异较大)的土壤进行交换,进行本土和异地客土田间小区试验,细分气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素及表面提取物含量的影响效应,探讨关键生态影响因子,为揭示烤烟香气风格的形成机理奠定理论基础,进而研究彰显当地生态特色,弥补当地生态不足的最佳栽培技术,为构建不同质量风格特色烟叶生产的核心技术提供实践依据和理论支撑。

1 材料与方法

1.1 参试地点及其气候条件

试验于 2009—2010 年在贵州开阳、威宁和天柱 3 县进行。威宁试地位于 N 27°06'40.8", E103°48'57.3", 海拔 2111m。开阳试地位于 E107°06'40.8", N26°52'24.8", 海拔 1130m。天柱试地位于 N 26°57'25.2', E 109°15'50.2', 海拔 640m。气象数据来源于贵州省气象局,以 3 个试验点所在县的气象台数据为准。烤烟大田生长前期的气象要素值统计时段为移栽当天至采收第 1 炕,成熟期的气象要素值统计时段为第 1 次采收至采收

结束。试验点的气候状况如表 1。

表 1 试验点不同生长期的主要气象数据
Table 1 Main meteorological data at different growth stages at three sites

气象因子 Climate factor	大田生长前期 Earlier growing stage in field			成熟期 Maturing stage		
	开阳	天柱	威宁	开阳	天柱	威宁
日平均气温 Daily mean temperature/℃	19.1	23.6	15.9	21.7	26.2	16.5
≥10℃ 积温 ≥10℃ accumulated temperature/℃	1162.3	1156.7	941.6	1379.8	1687.4	1289.9
累积日照时数 The amount of sunlight hours/h	219.7	176.6	270.2	358.1	363.4	261.3
累积降水量 Cumulative rainfall/mm	395.4	338.7	329.6	282.8	291.5	379.8
日均相对湿度 Daily mean relative humidity/%	86.4	82.7	84.9	84.3	83.6	85.2

1.2 试验设计

2009 年开阳设处理 1:天柱土壤,耕作层与犁底层挖出后分层填入(打破犁底层);处理 2:威宁土壤,打破犁底层;处理 3:开阳土壤,犁底层与下层土壤直接相连(未打破犁底层);处理 4:开阳土壤,打破犁底层。天柱和威宁设处理 1:开阳土壤,打破犁底层;处理 2:当地土壤,打破犁底层;处理 3:当地土壤,未打破犁底层。2010 年威宁试点增加天柱土壤(打破犁底层)处理,天柱试点增加威宁土壤(打破犁底层)处理。3 次重复,随机区组排列。移栽前分别在开阳、威宁和天柱 3 个试验点取供试土壤 0—20cm 样品 3 个送贵州省农学科学研究院测定土壤理化性。供试土壤基本理化性状见表 2。

表 2 供试土壤基本理化性状
Table 2 The basic physiochemical property of tested soils

土壤 Soil	水解氮 Avail. N /(mg/kg)	有效磷 Avail. P /(mg/kg)	有效钾 Avail. K /(mg/kg)	pH	有效硼 Avail. B /(mg/kg)	有效铜 Avail. Cu /(mg/kg)	有效锰 Avail. Mn /(mg/kg)	有效铁 Avail. Fe /(mg/kg)	有效硫 Avail. S /(mg/kg)	阳离子交换量 Cation exchange capacity /(cmol/kg)
开阳土	183.08	36.58	148.77	6.07	0.36	1.87	76.13	22.53	97.06	28.40
威宁土	134.15	12.72	168.89	5.87	0.17	1.29	35.41	9.25	30.42	10.08
天柱土	142.86	3.22	94.05	5.75	0.29	1.53	51.53	13.25	73.94	12.23

1.3 供试品种及试验过程

供试品种为云烟 85。各试点选取代表当地典型生态特性、肥力中等、均匀一致、上一年无种植烤烟和蔬菜历史、没有烟草根茎性病害史的地块。要求光照充分,坡度 3°—5°,四周有保护烟地。移栽前 15d,试验地按方案要求开挖深 0.4m,宽 3.0m,长 5.2m 的试验池(小区),0—20cm 耕作层和 20—40cm 犁底层分开,分别装袋运往其它试验点。试验池间隔 0.5m,重复间沟宽 0.8m。试验池四周用较厚的塑料膜隔开,按处理要求分层填土,池口高于地面。移栽前一周顺坡起垄,垄高 25cm,垄距 1m,垄长 5.2m,单一处理共 3 行且两侧再起保护垄两行。当地最佳移栽期移栽,株距 0.52m,每小区种烟 30 株,亩施纯氮 6kg。50% 烟株达盛花期一次性打顶,有效留叶 20 片/株。其它田间管理按当地优质烟叶标准化生产管理进行。每小区选择取 20 株长势均匀一致、无病虫害发生的烟株,挂牌标记下部叶(从下向上第 4 位叶)、中部叶(第 10 位)和上部叶(第 16 位)。分小区单独采收标记烟叶,独立绑杆,统一烘烤,烤后烟叶用于类胡萝卜素和表面提取物含量测定。

1.4 类胡萝卜素含量测定

称取约 0.5g 烟叶样品,加入 90% 丙酮-水溶液 30mL,超声萃取 30min,过滤,烟叶固体用萃取液洗涤 3 次,定容至 50mL 容量瓶中,摇匀,静置后过 0.45μm 滤膜转移到色谱瓶中进行液相色谱测定。

Agilent1100 色谱仪配备二极管阵列检测器;色谱柱 Zorbax SB-C18 (150×4.6mm,5.0μm,Agilent 公司),柱温为 25℃;流动相 A 为乙腈;二氯甲烷=4:1(体积分数);流动相 B 为水。梯度洗脱条件:0min 0% B; 5min

5% B; 10min 0% B。流速为 1.0 mL/min, 进样量为 20.0 μ L; 检测波长: 450 nm。 β -胡萝卜素、叶黄素 (Fluka 公司, Switzerland, 纯度大于 97%); HPLC 级的二氯甲烷、乙腈 (TEDIA, USA); 丙酮为分析纯; 水为二次亚沸石英蒸馏水。

1.5 表面提取物含量测定

称取烟叶样品 10 g, 先后在装有 200 mL 二氯甲烷的 3 个烧杯中浸洗。在第 1 只烧杯中浸洗 4 次, 每浸一次在溶剂中停留, 待二氯甲烷稍挥发, 再在第 2、3 只烧杯中重复浸洗, 每次浸洗时叶片倒顺序提取 (即上次最后提取的叶片首先被浸洗)。3 次提取完成后, 将含有叶面提取物的溶剂过滤到平底烧瓶内 (滤纸内放无水硫酸钠 50 g), 过滤漏斗、烧杯和滤纸均用二氯甲烷冲 3 次以上。然后将浸提液转移至旋转蒸发仪中, 在 40 $^{\circ}$ C 下浓缩, 最后移入琥珀色瓶中, 定容至 10 mL, 置于 0 $^{\circ}$ C 左右暗处备测。

称取 0.336 g 芳樟醇于 500 mL 容量瓶中用异丙醇定容, 转移到试剂瓶中, 贴上标签, 作为内标。移取烟叶腺毛分泌物提取浓缩物 2 mL, 加入 1 mL 内标, 再浓缩至 1 mL, 进行 GC 或 GC/MS 分析。气相色谱条件: TRACE GC 气相色谱仪 (Finnigan 公司); 色谱柱为 DB-5 30m $\times$ 0.25mmid $\times$ 0.25 μ mdf.; 初温 100 $^{\circ}$ C, 恒温 2 min 后以 4 $^{\circ}$ C/min 升至 180 $^{\circ}$ C, 保持 30 min 以 8 $^{\circ}$ C/min 升至 280 $^{\circ}$ C, 保持 25 min; 进样口 250 $^{\circ}$ C, FID 280 $^{\circ}$ C; He₂ 为载气, 流速为 1.5 mL/min; 分流流量 60 mL/min; 进样量 2.0 μ L。质谱条件: TurboMass 色质联用仪 (PE 公司); 色谱柱为 DB-5 30m $\times$ 0.25mmid $\times$ 0.25 μ mdf.; 载气 He; 流速为 1.5 mL/min; 传输线温度 250 $^{\circ}$ C, 离子源温度 170 $^{\circ}$ C; EI 能量 70 eV, 扫描范围 35—450 uam, 其余色谱条件同 GC。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件和 DPS 数据处理系统进行统计分析, 同时引入偏 Eta 平方值^[14-15], 并转换为百分率, 来比较气候和土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量变异的贡献率大小。灰色关联分析按照灰色系统理论^[16]进行。

2 结果与分析

2.1 不同气候与土壤条件下种植的烤后烟叶类胡萝卜素含量差异分析

类胡萝卜素是烟叶的重要致香前体物, 主要由 β -胡萝卜素、叶黄素、新黄质和紫黄质组成^[17], 其中 β -胡萝卜素含量最高, 叶黄素次之, 紫黄质最少^[18]。本文研究了不同气候和土壤对 β -胡萝卜素和叶黄素含量的影响, 以为揭示烤烟香气风格的形成机理奠定基础。

2.1.1 同一土壤在不同气候下种植的烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量差异分析

表 3 为开阳、威宁和天柱 3 种土壤在不同气候下种植的烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量。可以看出, 开阳土壤在本地、威宁和天柱气候下, β -胡萝卜素和叶黄素含量均为下部叶 > 中部叶 > 上部叶; 当地气候下种植的烤后烟叶平均 β -胡萝卜素含量和叶黄素含量与威宁气候间无统计学差异, 显著高于天柱气候, 分别为其 1.82 和 2.04 倍。威宁土壤在本地、开阳和天柱气候下, β -胡萝卜素和叶黄素含量均为下部叶 > 上部叶 > 中部叶; 当地气候下种植的烟叶平均 β -胡萝卜素含量和叶黄素含量与开阳气候间差异未达显著水平, 显著高于天柱气候, 分别为其 1.38 和 1.23 倍。天柱土壤在本地、开阳和威宁气候下, β -胡萝卜素和叶黄素含量都是上部叶 > 下部叶 > 中部叶; 平均 β -胡萝卜素含量和叶黄素含量 3 种气候间差异显著, 当地气候最低, 开阳气候最高, 开阳气候下的平均 β -胡萝卜素含量和叶黄素含量分别是天柱的 3.0 倍和 3.88 倍。由此可见, 同一土壤在不同气候条件下种植烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量存在显著差异, 但其部位特征表现一致。

2.1.2 同一气候条件下不同土壤种植的烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量差异分析

由表 3 可知, 开阳气候条件下, 3 种植烟土壤烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量的部位间差异各不相同, 威宁土壤下部叶最高, 中部叶最低; 天柱土壤上部叶最高, 中部叶最低; 开阳土壤下部叶最高, 上部叶最低。从 3 部位平均值来看, 开阳和威宁土壤种植烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量无统计学差异, 显著低于天柱土壤; 天柱土所产烟叶的平均 β -胡萝卜素含量分别是开阳土和威宁土的 1.48 和 1.57 倍, 平均叶黄素含量分别是开阳土和威宁土的 1.99 和 1.85 倍。威宁气候条件下, 开阳土壤种植烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量为下部叶

>中部叶>上部叶,威宁土壤为下部叶>上部叶>中部叶,天柱土壤为上部叶>下部叶>中部叶;平均 β -胡萝卜素含量和叶黄素含量 3 种土壤间无显著差异。天柱气候条件下,开阳土壤种植烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量为下部叶>中部叶>上部叶,天柱土壤与之相反,威宁土壤为下部叶>上部叶>中部叶;平均 β -胡萝卜素含量和叶黄素含量 3 种土壤间无统计学差异。上述说明,相同气候条件下不同土壤种植烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量差异不显著,其部位特征也明显不同。

表 3 不同气候与土壤条件下种植的烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量
Table 3 The β -carotene and lutein content of cured tobacco leaves from different soils under different climates

土壤 Soil	气候 Climate	β -胡萝卜素 β -carotene/($\mu\text{g/g}$)				叶黄素 Lutein/($\mu\text{g/g}$)			
		上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean
开阳土	开阳	62.5	67.4	69.9	66.6 b	119.2	128.8	148.5	132.2bc
	威宁	56.5	62.3	67.9	62.2bc	77.1	81.3	129.7	96.0 b
	天柱	34.2	36.5	39.2	36.6d	54.7	68.7	71.0	64.8 d
威宁土	开阳	64.1	51.8	72.5	62.8 bc	127.5	123.4	175.5	142.1b
	威宁	68.6	56.1	77.3	67.3 b	115.9	96.6	155.3	122.6 bc
	天柱	46.7	41.7	57.6	48.7d	103.7	67.4	127.5	99.5d
天柱土	开阳	112.0	78.4	106.1	98.8 a	267.9	259.4	261.5	262.9 a
	天柱	43.7	33.2	21.7	32.9d	81.7	55.9	65.9	67.8 d
	威宁	74.7	46.8	68.3	63.6bc	150.6	70.7	114.9	112.1bc

表中标以不同字母者表示在 0.05 水平上差异显著

2.2 不同气候与土壤条件下种植的烤后烟叶表面提取物含量差异分析

腺毛分泌物及烷烃类蜡质是烟叶表面提取物中的最主要成分。本文分析了不同气候与土壤对烤后烟叶腺毛分泌物及烷烃类蜡质的影响,对了解不同烟区烤烟香型差异有重要的现实意义。

表 4 不同气候与土壤条件下种植的烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量
Table 4 The trichome secretions and alkane waxiness content of cured tobacco leaves from different soils under different climates

土壤 Soil	气候 Climate	腺毛分泌物 Trichome secretions/($\mu\text{g/g}$)				烷烃类蜡质 Alkane waxiness/($\mu\text{g/g}$)			
		上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean
开阳土	开阳	96.71	93.82	62.56	84.4de	133.57	87.55	102.79	108.0c
	威宁	233.25	396.58	134.09	254.6bc	332.05	420.43	270.45	341.0a
	天柱	663.3	431.5	342.37	479.1a	354.95	208.17	277.47	280.2b
威宁土	开阳	96.28	84.52	34.97	71.9e	207.08	69.75	73.37	116.7c
	威宁	181.19	268.36	75.4	175.0cd	276.42	350.2	247.85	291.5ab
	天柱	479.91	341.66	198.39	340.0b	380.02	240.72	306.26	309.0b
天柱土	开阳	149.0	138.34	71.47	119.6de	282.26	143.55	159.15	195.0bc
	威宁	158.56	253.59	74.74	162.3cd	276.05	447.97	125.01	283.0a
	天柱	603.57	557.3	249.8	470.2a	334.87	128.46	190.69	218.0a

表中标以不同字母者表示在 0.05 水平上差异显著

2.2.1 同一土壤在不同气候下种植的烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量差异分析

表 4 为开阳、威宁和天柱 3 种土壤在不同气候下种植的烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量。可以看出,开阳土壤在本地和天柱气候下,威宁土壤在开阳和天柱气候下,天柱土壤在本地和开阳气候下,烤后烟叶腺毛分泌物含量均随部位升高而增加,烷烃类蜡质含量为上部叶>下部叶>中部叶。3 种土壤在威宁气候下烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量都表现为中部叶>上部叶>下部叶。开阳土壤的烤后烟叶平均腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量 3 种气候间的差异均达显著水平,当地气候均最低;腺毛分泌物含量天柱气候最高,烷烃

类蜡质含量威宁气候最高,分别为当地气候的 5.68 倍和 3.16 倍。威宁土壤的烤后烟叶平均腺毛分泌物含量在 3 种气候间的差异显著,天柱气候最高,为最低者开阳气候的 4.73 倍;当地气候下的烤后烟叶平均烷烃类蜡质含量与天柱气候间差异未达显著水平,显著高于天柱气候,分别为其 2.50 和 2.65 倍。天柱土壤的烤后烟叶平均腺毛分泌物含量 3 种气候间存在显著差异,当地气候下最高,为最低者开阳气候的 3.93 倍;威宁气候下的平均烷烃类蜡质含量显著高于开阳气候,为其 1.44 倍。由上得出,同一土壤在不同气候条件下种植的烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量差异显著,部位间的变化也有所不同。

2.2.2 同一气候条件下不同土壤种植的烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量差异分析

如表 4 所示,开阳和天柱气候下 3 种土壤种植的烤后烟叶腺毛分泌物含量均随部位升高而增加,烷烃类蜡质含量均为上部叶>下部叶>中部叶。威宁气候下 3 种土壤种植的烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量都表现为中部叶>上部叶>下部叶。开阳和威宁气候下的烤后烟叶平均腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量 3 种土壤间均无统计学差异。天柱气候下,本地与开阳土壤种植的烤后烟叶平均腺毛分泌物含量基本相当,显著高于威宁土壤,分别为其 1.41 倍和 1.38 倍;威宁和开阳土壤种植的烤后烟叶平均烷烃类蜡质含量差异未达显著水平,显著高于当地土壤,分别为其 1.42 倍和 1.28 倍。综上所述,相同气候条件下,不同土壤种植的烤后烟叶腺毛分泌物和烷烃类蜡质含量无统计学差异,其部位特征完全相同。

2.3 土壤与气候对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响程度比较

不同植烟土壤和气候条件下,烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的变异分析(表 5)表明, β -胡萝卜素与叶黄素含量气候间的变异系数分别为 32.2% 和 43.1%,土壤间的变异系数分别为 11.0% 和 22.6%。 β -胡萝卜素含量气候间的变异度是土壤间的近 3 倍,叶黄素含量气候间的变异度是土壤间的近 2 倍。腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量气候间的变异系数分别为 54.70% 和 36.52%,土壤间的变异系数分别为 16.60% 和 9.35%。腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量气候间的变异度分别为土壤间的 3.3 倍和 3.9 倍。按照变异系数的划分等级:变异系数<10% 为弱变异性,变异系数为 10%—100% 为中等变异性,变异系数>100% 为强变异性^[19]。说明烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的变异都属中等强度,它们受气候因素的影响相对较大。

表 5 不同气候和土壤条件下烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的变异分析

Table 5 Variation analysis on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves under different soils and climates

成分 Component		变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	<i>F</i>	<i>P</i>	偏 Eta^2 值 Partial Eta^2 squared	CV /%
类胡萝卜素 Carotenoids	β -胡萝卜素 β -carotene	气候 Climate	711.90	29.51	0.0001	0.74	32.20
		土壤 Soil	83.23	4.13	0.0615	0.09	11.00
		气候 $\times$ 土壤 Climate $\times$ soil	130.82	7.42	0.0110	0.14	
	叶黄素 Lutein	气候 Climate	534.60	79.24	0.0001	0.64	43.10
		土壤 Soil	96.40	24.58	0.0001	0.12	22.60
		气候 $\times$ 土壤 Climate $\times$ soil	165.80	42.87	0.0001	0.20	
表面提取物 Cuticular extractions	腺毛分泌物 Trichome secretions	气候 Climate	537699.90	40.25	0.0001	0.61	54.70
		土壤 Soil	105135.80	4.36	0.0579	0.13	16.60
		气候 $\times$ 土壤 Climate $\times$ soil	139528.50	10.62	0.0308	0.17	
	烷烃类蜡质 Alkane waxiness	气候 Climate	164763.20	29.16	0.0001	0.63	36.52
		土壤 Soil	18471.78	3.27	0.0645	0.07	9.35
		气候 $\times$ 土壤 Climate $\times$ soil	31923.16	5.82	0.0413	0.12	

气候 $\times$ 土壤表示气候与土壤交互

将气候和土壤作双因素方差分析, β -胡萝卜素、叶黄素、腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量气候间的差异均极显著,气候和土壤互作的差异显著,土壤间的差异不显著。气候、土壤及其互作对 β -胡萝卜素含量变异的贡献率分别为 74%、9% 和 14%,对叶黄素含量变异的贡献率分别为 64%、12% 和 20%,对腺毛分泌物含量变异

的贡献率分别为 61%、13% 和 17%,对烷烃类蜡质含量变异的贡献率分别为 63%、7% 和 12%。初步判断气候对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响最大,气候与土壤互作其次,最后为土壤的影响。

2.4 烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量与气候及土壤因子的灰色关联分析

烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量与主要土壤因子及气候因子的灰色关联分析(表 6—表 9)表明,不同土壤和气候因子与二者的关联度和关联序明显不同。与 β -胡萝卜素含量关联度较大的前 10 个生态因子依次为大田生长前期的累积日照时数、土壤有效钾含量、成熟期的相对湿度、大田生长前期的累积降水量、土壤 pH 值、土壤有效磷含量、大田生长前期的相对湿度、成熟期的平均气温、成熟期的累积降水量、大田生长前期的平均气温,气候因子占 7 个,土壤因子占 3 个。与叶黄素含量关联度较大的前 10 个生态因子依次为大田生长前期的累积降水量和累积日照时数、成熟期的相对湿度、大田生长前期的相对湿度、土壤有效钾含量、成熟期的平均气温、土壤 pH 值、大田生长前期的平均气温、土壤有效磷含量、成熟期的累积日照时数,气候因子占 7 个,土壤因子占 3 个。与腺毛分泌物含量关联度较大的前 10 个生态因子依次为大田生长前期的平均气温、成熟期的相对湿度、成熟期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、大田生长前期的相对湿度、成熟期的平均气温、成熟期的累积日照时数、土壤 pH 值、大田生长前期的累积日照时数、土壤有效铜含量、大田生长前期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温。气候因子占 8 个,土壤因子占 2 个。与烷烃类蜡质含量关联度较大的前 10 个生态因子依次为大田生长前期的累积降水量和平均气温、成熟期的平均气温、土壤有效锰含量、土壤阳离子交换量、大田生长前期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、成熟期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、土壤有效磷含量、大田生长前期的相对湿度、土壤有效钾含量,气候因子占 6 个,土壤因子占 4 个。

关联度大,说明因素变化的势态接近,相互关系密切;反之,相互关系疏远^[20]。综合分析,气候因子与类胡萝卜素和表面提取物含量的关系明显较土壤因子密切,与前面双因素方差分析结果一致。影响 β -胡萝卜素和叶黄素含量的前 3 个气象因子为大田生长前期的累积日照时数和累积降水量、成熟期的相对湿度,前 3 个土壤因子为有效钾、有效磷含量和 pH 值。影响腺毛分泌物含量的前 3 个气象因子为大田生长前期的平均气温、成熟期的相对湿度和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温,前 3 个土壤因子为有效钾、有效铜含量和 pH 值。影响烷烃类蜡质含量的前 3 个气象因子为大田生长前期的累积降水量和平均气温、成熟期的平均气温,前 3 个土壤因子为有效锰、有效磷含量和阳离子交换量。

2.5 不同土壤耕作方式对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响

2.5.1 不同土壤耕作方式对烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量的影响

在开阳、天柱和威宁对当地植烟土壤进行了打破犁底层与未打破犁底层的两种耕作方式的比较研究(表 10)。不同烟区土壤的耕作方式对三部位烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量的影响存在多种变化。开阳土壤打破犁底层对中部烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量影响较大,打破犁底层处理较未打破犁底层分别降低了 $15.5\mu\text{g/g}$ 和 $20.2\mu\text{g/g}$,下部和上部叶耕作方式间差异较小。威宁土壤打破犁底层对下部叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量影响较大,打破犁底层处理较未打破犁底层分别降低了 $25.1\mu\text{g/g}$ 和 $27.3\mu\text{g/g}$,上部和中部叶耕作方式间差异不明显。天柱土壤打破犁底层对中部烟叶的 β -胡萝卜素和叶黄素含量影响较明显,打破犁底层处理较未打破犁底层分别增加了 $8.6\mu\text{g/g}$ 和 $20.1\mu\text{g/g}$,下部和上部叶耕作方式间相差不大。从 3 个部位烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量平均值来看,3 种植烟土壤未打破犁底层与打破犁底层间均无显著差异,耕作方式间的差异远小于生态区间的差异。低海拔的天柱最低,中海拔的开阳与高海拔的威宁之间差异不显著。

2.5.2 不同土壤耕作方式对烤后烟叶腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量的影响

表 11 表明,不同烟区土壤的耕作方式对 3 个部位烤后烟叶腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量的影响明显不同。开阳土壤打破犁底层对中部烟叶腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量影响较大,打破犁底层较未打破犁底层分别提高 $36.54\mu\text{g/g}$ 和 $21.04\mu\text{g/g}$,下部和上部叶耕作方式间差异较小。威宁土壤打破犁底层对下部叶的腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量影响较大,打破犁底层较未打破犁底层分别增加 $23.39\mu\text{g/g}$ 和 $89.21\mu\text{g/g}$,上部和中部

表 6 烤后烟叶 β -胡萝卜素含量与气候及土壤因子的关联度和关联序

Table 6 Relational degree and relational gradation of the β -carotene content of cured tobacco leaves with climate and soil factors										
气候因子 Climate factor	大田生长前期 Field growth phase					成熟期 Mature stage				
	平均气温 Average temperature	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity	平均气温 Average temperature	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity
关联度 Relational degree	0.6042	0.5967	0.7704	0.6715	0.6325	0.6115	0.5679	0.5988	0.6107	0.6931
关联序 Relational gradation	10	12	1	4	7	8	16	11	9	3
土壤因子 Soil factor	水解氮 Avail. N	有效磷 Avail. P	有效钾 Avail. K	pH	有效硼 Avail. B	有效铜 Avail. Cu	有效锰 Avail. Mn	有效铁 Avail. Fe	有效硫 Avail. S	阳离子交换量 Cation exchange capacity
关联度 Relational degree	0.5777	0.6384	0.7271	0.6592	0.5643	0.5633	0.5639	0.5686	0.5642	0.5831
关联序 Relational gradation	14	6	2	5	17	20	19	15	18	13

表 7 烤后烟叶黄素含量与气候及土壤因子的关联度和关联序

Table 7 Relational degree and relational gradation of the lutein content of cured tobacco leaves with climate and soil factors										
气候因子 Climate factor	大田生长前期 Field growth phase					成熟期 Mature stage				
	平均气温 Average temperature	≥10℃ 积温 ≥10℃ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity	平均气温 Average temperature	≥10℃ 积温 ≥10℃ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity
关联度 Relational degree	0.6442	0.6331	0.721	0.7302	0.6808	0.6504	0.6179	0.6341	0.6256	0.714
关联序 Relational gradation	8	11	2	1	4	6	13	10	12	3
土壤因子 Soil factor	水解氮 Avail. N	有效磷 Avail. P	有效钾 Avail. K	pH	有效硼 Avail. B	有效铜 Avail. Cu	有效锰 Avail. Mn	有效铁 Avail. Fe	有效硫 Avail. S	阳离子交换量 Cation exchange capacity
关联度 Relational degree	0.5954	0.6355	0.6612	0.6443	0.5672	0.5742	0.5752	0.5828	0.5672	0.6025
关联序 Relational gradation	15	9	5	7	19	18	17	16	20	14

表 8 烤后烟叶腺毛分泌物含量与气候及土壤因子的关联度和关联序

Table 8 Relational degree and relational gradation of the trichome secretions content of cured tobacco leaves with climate and soil factors

气候因子 Climate factor	大田生长前期 Field growth phase					成熟期 Mature stage				
	平均气温 Average temperature	≥10℃ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity	平均气温 Average temperature	≥10℃ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity
关联度 Relational degree	0.6482	0.5625	0.6105	0.5563	0.6328	0.6282	0.6347	0.6226	0.5185	0.6429
关联序 Relational gradation	1	10	8	11	4	5	3	6	14	2
土壤因子 Soil factor	水解氮 Avail. N	有效磷 Avail. P	有效钾 Avail. K	pH	有效硼 Avail. B	有效铜 Avail. Cu	有效锰 Avail. Mn	有效铁 Avail. Fe	有效硫 Avail. S	阳离子交换量 Cation exchange capacity
关联度 Relational degree	0.4421	0.3263	0.5512	0.6208	0.4874	0.6072	0.521	0.4623	0.5018	0.407
关联序 Relational gradation	18	20	12	7	18	9	13	17	15	19

表 9 烤后烟叶烷烃类蜡质量与气候及土壤因子的关联度和关联序

Table 9 Relational degree and relational gradation of the alkane waxiness content of cured tobacco leaves with climate and soil factors

气候因子 Climate factor	大田生长前期 Field growth phase					成熟期 Mature stage				
	平均气温 Average temperature	≥10℃ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity	平均气温 Average temperature	≥10℃ accumulated temperature	累积日照时数 The amount of sunlight hours	累积降水量 Cumulative rainfall	相对湿度 Relative humidity
关联度 Relational degree	0.5125	0.4664	0.3729	0.5411	0.4181	0.5012	0.4628	0.4113	0.3908	0.4106
关联序 Relational gradation	2	6	19	1	9	3	7	13	18	15
土壤因子 Soil factor	水解氮 Avail. N	有效磷 Avail. P	有效钾 Avail. K	pH	有效硼 Avail. B	有效铜 Avail. Cu	有效锰 Avail. Mn	有效铁 Avail. Fe	有效硫 Avail. S	阳离子交换量 Cation exchange capacity
关联度 Relational degree	0.4147	0.4315	0.4176	0.4112	0.3523	0.4169	0.4955	0.3961	0.3992	0.4873
关联序 Relational gradation	12	8	10	14	20	11	4	17	16	5

表 10 不同耕作方式下烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量

Table 10 The β -carotene and lutein content of the cured tobacco leaves under different tillage methods									
土壤 Soil	耕作方式 Tillage methods	β -胡萝卜素 β -carotene/($\mu\text{g/g}$)				叶黄素 Lutein/($\mu\text{g/g}$)			
		上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean
开阳土	打破犁底层 Breaking plough pans	62.5	67.4	69.9	66.6a	119.2	128.8	148.5	132.2a
	未打破犁底层 No breaking plough pans	66.9	82.9	77.2	75.7 a	119.3	159.0	157.1	145.1 a
威宁土	打破犁底层 Breaking plough pans	68.6	56.1	77.3	67.5 a	115.9	96.6	155.3	122.6 a
	未打破犁底层 No breaking plough pans	63.4	53.9	102.4	73.2 a	100.4	90.2	192.6	127.7 a
天柱土	打破犁底层 Breaking plough pans	43.7	33.2	21.7	32.9b	65.9	81.7	55.9	67.8b
	未打破犁底层 No breaking plough pans	47.9	24.6	26.2	32.9b	70.5	61.6	66.5	66.2 b

表中标以不同字母者表示在 0.05 水平上差异显著

表 11 不同耕作方式下烤后烟叶腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量

Table 11 The trichome secretions and alkane waxiness content of the cured tobacco leaves under different tillage methods									
土壤 Soil	耕作方式 Tillage methods	腺毛分泌物 Trichome secretion/($\mu\text{g/g}$)				烷烃类蜡质 Alkane waxiness/($\mu\text{g/g}$)			
		上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	平均 Mean
开阳土	打破犁底层 Breaking plough pans	98.54	130.36	60.45	96.45b	113.51	108.58	101.7	107.93b
	未打破犁底层 No breaking plough pans	96.71	93.82	62.56	84.36b	133.57	87.55	102.79	107.97b
威宁土	打破犁底层 Breaking plough pans	194.84	276.84	98.79	190.16b	346.02	128.16	365.63	279.94a
	未打破犁底层 No breaking plough pans	181.19	268.36	75.40	174.98b	350.20	247.85	276.42	291.49a
天柱土	打破犁底层 Breaking plough pans	640.85	344.88	520.66	502.13a	469.49	312.42	301.94	361.28a
	未打破犁底层 No breaking plough pans	603.57	309.80	557.30	490.22a	434.87	288.46	290.69	338.01a

表中标以不同字母者表示在 0.05 水平上差异显著

叶耕作方式间差异不明显。天柱土壤打破犁底层对中部叶腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量影响较明显,打破犁底层较未打破犁底层分别增加 35.08 $\mu\text{g/g}$ 和 23.04 $\mu\text{g/g}$,下部和上部叶耕作方式间相差不大。从烤后烟叶腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量 3 个部位平均值来看,3 种植烟土壤未打破犁底层与打破犁底层间的差异不显著,耕作方式间的差异远小于生态区之间的差异。低海拔天柱的腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量均最高,中海拔的开阳与高海拔的威宁间差异未达显著水平。烷烃类蜡质含量中间香型的开阳最低,清香型的威宁和天柱间无统计学差异。

3 讨论

类胡萝卜素是烟叶中的重要香气前体物,在烟叶成熟、调制、醇化和燃烧过程中可降解转化形成多种体现烟草特征香味的物质^[21-22]。如叶黄素发生双键断裂可生成 3-羟基- α -紫罗兰酮,进一步转化形成巨豆三烯酮^[23], β -胡萝卜素在脂氧合酶作用下可形成 β -紫罗兰酮和二氢猕猴桃内酯等^[24]。烟草叶面分泌物在烘烤调制过程中除少部分降解转化或挥发损失外,大部分仍留存于叶面或渗透到叶表皮下细胞间隙,形成烟叶油

分和其它致香物质^[1]。冀浩等^[25]研究认为,烟叶表面提取物缺失对评吸质量产生负面影响,香气质量下降。因此,通过适宜的调控技术,烟叶生长和成熟期间促进类胡萝卜素的合成积累,烘烤过程中使其适当降解,有利于改善烟叶香气品质;提升烤后烟叶表面提取物含量,有助于丰富芳香类型。

烤后烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量地域性差异明显,在原地土壤和气候因素的综合作用下,中海拔开阳烟区最高,高海拔威宁烟区稍低,二者间差异较小;低海拔天柱烟区显著低于开阳和威宁。说明在低纬度高海拔地区,类胡萝卜素容易积累,与韩锦峰等^[26]研究结果相吻合。类胡萝卜素是保护叶绿素免受强光破坏的色素类物质^[27],高海拔烟区紫外线强度强,可能诱使烟叶类胡萝卜素合成关键酶基因表达增强,合成更多类胡萝卜素以减轻高光强对叶绿素的破坏程度^[28]。烤烟生长后期多雨寡照和相对较低的气温导致类胡萝卜素分解代谢减缓^[29],增加了其积累量。但海拔高度对烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量的影响存在阈值现象,表现为高海拔威宁烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量却低于中海拔开阳烟区,有待于进一步研究分析。清香型烤烟类胡萝卜素含量显著高于中间香型烤烟^[30],低海拔天柱烟叶 β -胡萝卜素和叶黄素含量不高,其独特清香型风格的形成可能与各种类胡萝卜素降解产物的协调性有关。天柱和威宁烤后烟叶的表面提取物含量明显高于开阳,说明清香型烟叶的表面提取物含量高于中间香型,周冀衡等^[31]的研究也证明了这一点,较高的腺毛分泌物与烷烃类蜡质含量可能是形成清香型烟叶风格特色的主要因素之一。

不同生态因子对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响程度明显不同,类胡萝卜素含量气候间的变异度是土壤的 2—3 倍,表面提取物含量气候间的变异度是土壤的 3—4 倍。气候的贡献矢量远大于土壤,气候、土壤及其互作对 β -胡萝卜素含量变异的贡献率分别为 74%、9% 和 14%,对叶黄素含量变异的贡献率分别为 64%、12% 和 20%,对腺毛分泌物含量变异的贡献率分别为 61%、13% 和 17%,对烷烃类蜡质含量变异的贡献率分别为 63%、7% 和 12%。说明气候因素是影响烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的关键生态因子,土壤的影响主要是通过与气候互作起作用。类胡萝卜素和表面提取物含量作为烟叶重要的致香前体物质,对烟叶的品质和风格具有重要影响。因此,在特色优质烟叶的区域定位时,应重点考虑气候因素。烤烟生产中,充分认识到气候条件的重要性,与品种和栽培调制等有效结合起来,共同发挥生态优势,更加突出烟叶品质和香气风格,充分彰显质量特色。

灰色关联分析表明,与类胡萝卜素和表面提取物含量关联度较大的前 10 个生态因子中,气候因子占 6—8 个,土壤因子为 2—4 个,进一步证实气候因子与烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的关系较土壤因子密切。影响类胡萝卜素含量的前 3 个气候因子为大田生长前期的累积日照时数和累积降水量、成熟期的相对湿度;生长前期气候因子主要影响类胡萝卜素合成关键酶基因的表达,后期气候因子主要影响类胡萝卜素的分解代谢。前 3 个土壤因子为有效钾、有效磷含量和 pH 值,邓小华等^[32]研究结果一致。腺毛分泌物含量的前 3 个气象影响因子为大田生长前期的平均气温、成熟期的相对湿度和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温。崔红等^[33]认为河南和云南烟区叶龄 60d 的中部叶面腺毛中基因的表达差异与河南烟区 7 月中上旬高热少雨,云南烟区此时的相对低温多雨气候特征有关,从分子水平证实了上述结果。烷烃类蜡质含量的前 3 个气象影响因子为大田生长前期的累积降水量和平均气温、成熟期的平均气温。一次暴雨、急雨可冲掉烟叶表面物质 20% 以上,降低叶片表面分泌物的含量^[34],推测降水量的多少与保持叶面烷烃类蜡质有一定关系。腺毛分泌物含量的前 3 个土壤影响因子为有效钾、有效铜含量和 pH 值,烷烃类蜡质含量的前 3 个土壤影响因子为有效锰、有效磷含量和阳离子交换量。选择有效钾和有效锰含量高的土壤,有利于增加烟叶表面分泌物的含量,改善烤烟香味品质。

不同气候相同土壤所产烟叶的类胡萝卜素含量的部位特征完全相同,相同气候不同土壤所产烟叶的类胡萝卜素含量的部位特征差异较大,说明土壤因子对烟叶类胡萝卜素含量部位特征的影响效果较气候因子突出,这与土壤因子对烤烟的营养供给、碳氮代谢和烟叶成熟度产生直接影响有一定关系。同一土壤在不同气候条件下种植烟叶的表面提取物含量在部位间的变化各异,相同气候条件下不同土壤种植的烤后烟叶表面提取物含量部位特征完全相同,说明气候因子对烟叶表面提取物含量部位特征的影响较土壤因子明显。究其原因主要是烟草叶面分泌物生物合成和分泌过程所需的前体物质和能源,部分或全部由自身的光合作用提供,

气候因子对光合作用有着更直接的影响。烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的部位效应是生态条件、遗传因素和栽培技术共同作用的结果,部位间差异的详细机制有待于进一步研究。不同耕作方式对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量无明显影响,耕作方式间的差异远小于生态区间的差异。说明生态环境对烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的主导性,在特色烟叶香气风格的形成机理研究中,应重视生态基础研究。

References:

- [1] Zuo T J. Tobacco Production Physiology and Biochemistry. Shanghai: Shanghai Far East Publishers, 1993: 385-396.
- [2] Johnson A W. Tobacco leaf trichomes and their exudates. *Tob Sci*, 1985, 29: 67-72.
- [3] Severson R F. Quantitation of major cuticular components from green leaf of different tobacco type. *J Agric Food Chem*, 1984, 32: 566-570.
- [4] Zhu X L, Pan W J, Chen Y, Chen W, Li Z H, Zhang J L, Xu Z H, Li H X. Analysis of major cuticular components extracted from green leaves of different flue-cured tobacco varieties. *Chinese Tobacco Science*, 2011, 32(3): 51-56.
- [5] Zhao M Q, Zhang Z F, Ji X M. The study on chromoplast pigments and chemical components in flue-cured tobacco leaves from different sites and different growing position. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2009, 31(2): 241-219.
- [6] Yang H Q, Zhou J H, Luo Z M, Yang S Y. Study on chromoplast pigments and its degrading products of the flue-cured tobacco from different producing regions in china. *Journal of Southwest Agricultural University (Nat Sci)*, 2004, 26(5): 640-644.
- [7] Pang T, Song C M, Zhang Y H, Fang D H, Deng J H, Lu X P, Deng Y L. Difference analysis on chemical constituents and aroma components between flue-cured tobacco cultivars from Yunnan Province and Zimbabwe. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2010, 45(1): 62-71.
- [8] Yin Q Y, Wang X, Yang T Z, Wang X H. Studies on leaf cuticular extraction and neutral aroma components in flue-cured tobacco genotypes and regions and its relation to routine chemical components. *Acta Tabacaria Sinica*, 2010, 16(3): 17-23.
- [9] Jia Y C, Liu P Y, Yang T Z, Zhang X Q, Zhao Y B, Li Z J, Zhao W C. Analysis of difference in aroma constituents of flue-cured tobacco among different genotypes in different ecological regions. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 23(1): 31-34.
- [10] Li Z H, Li J X, Pan W J, Liang G L, Zhu X L. Cuticular component variations of cured tobacco leaves from different ecological regions in guizhou and their effects on leaf styles. *Chinese Tobacco Science*, 2011, 32(5): 1-5.
- [11] Weybrew J A. Estimation of the plastid pigments in tobacco. *Tobacco Science*, 1957(1): 1-5.
- [12] Chang S Y, Grunwald C. Duvatrienediol, alkanes, and fatty acids in cuticular wax of tobacco leaf of various physiological maturity. *Phytochemistry*, 1976(15): 961-963.
- [13] Severson R F, Jackson D M, Chaplin J F. The effect of plant age and curing on cuticular leaf chemical levels and composition [C]. 36th TCRC, 1982.
- [14] Wang S B, Zheng H T, Shao Q Q. SPSS Statistical and Analysis. Beijing: Mechanical Industry Press, 2003.
- [15] Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [16] Yuan Z J. Grey System Theory and Application. Beijing: Science Press, 1991: 11-34.
- [17] Zhou J H, Wang Y, Shao Y, Yang H Q, Li Y P, Zhu L S. The comparison on the content of chromoplast pigments and volatile aromatic materials of flue-cured tobacco from domestic and abroad. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science*, 2005, 31(2): 128-132.
- [18] Song Z P, GAO Y, Wu S J, Xu Z C, Gong C R, Zhang W J. The degradation mechanism of carotenoids in flue-cured tobacco and the changes of the related enzymes activities at leaf-drying stage during the bulk curing process. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2875-2881.
- [19] Lei Z D, Yang S X, Xu Z R, G · Vachaud. Preliminary investigation of the spatial variability of soil properties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1985, 16(9): 10-21.
- [20] Liu L X, Sun Q X, Wang S Y. Preliminary study on the synthetic evaluation of new crop variety with the application of Grey System Theory (in Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 1989, 22(3): 22-27.
- [21] Gong C R, Zhao M Q, Wang Y F, Li R. Study on the characteristics of pigment degradation in tobacco leaf under different curing conditions. *Tobacco Science & Technology*, 1997 (2): 33-34.
- [22] Wahlberg I, Kerstin K, Austin D J. Effects of flue-curing and ageing on the volatile, neutral and acidic constituents of Virginia tobacco. *Pytochemistry*, 1977, 6: 1217-1231.
- [23] Hou Y, Xu J C, Wang B X, Yang Y, Yang Y, Wang Y U, Liu J. Analysis of pyrolytic products of lutein. *Tobacco Science & Technology*, 2007 (12): 27-32.
- [24] Gopalani A, Gopalachari N C. Biochemical changes in leaf pigments and chemical constituents during flue-curing of tobacco. *Tob Res*, 1979, 5: 113-117.
- [25] Ji H, Li X, Zhao Y Z, Zhang H, Wei Y W, Cui H. Effect of leaf surface exudate extraction on flue-cured tobacco quality. *Chinese Tobacco Science*, 2008, 29(2): 13-17.
- [26] Han J F, Liu W Q, Yang S Q, Lu Q L, Han f G, Hong T, Wang Y T, Hou W H, Hang Y J. Effect of altitude on aroma substances in flue-cured tobacco. *Chinese Tobacco Science*, 1993(3): 1-3.
- [27] Tracewell C A, Vrettos J S, Bautista J A, Frank H A, Brudvig G W. Carotenoid photooxidation in photosystem II. *Archives of Biochemistry and*

Biophysics, 2001, 385: 61-69.

- [28] Xu C J, Zhang S L. Carotenoid biosynthesis and its regulation in plants. *Plant Physiology Communications*, 2000, 36(1): 64-67 .
- [29] Zhao C N, Zhao E W, Xiao B G, Zeng J M, Deng Y L, Yao S S, Zhu X Y, Cui H. Comparative dynamic analyses of plastid pigment biosynthesis of flue-cured tobacco growing in different ecological regions of China. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(12): 68-71.
- [30] Xi Y X, Wei C Y, Song J Z, Zhou H P, Liu Y, Guo W M, Zhang S X. Content variance of some chemical components in flue-cured tobacco of different flavor styles. *Tobacco Science & Technology*, 2011, 5: 29-33.
- [31] Zhou J H, Yang H Q, Lin G H, Yang S Y. Studies on the Main Volatile Aroma Components in Tobacco from Different Flue-Cured Tobacco Production Regions. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2004, 30(1): 20-23.
- [32] Deng X H, Xie P F, Peng X H, Yi J H, Zhou J H, Zhou Q M, Pu W X, Dai Y G. Effects of soil, climate, and their interaction on some neutral volatile aroma components in Flue-cured tobacco leaves from high quality tobacco planting regions of Hunan Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 2063-2071.
- [33] Cui H, Ji H, Yang H J, Xiao B G, Zeng J M, Deng Y L. Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 3143-3149.
- [34] Sereson R F, Johnson A W, Jockson D M. Cuticular constituents of tobacco: factors affecting their production and their role in insect and disease resistance and smoke quality. *Rec Adv Tob Sci*, 1985, 11: 105-173.

参考文献:

- [1] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学. 上海:上海远东出版社,1993:385-396.
- [4] 朱显灵,潘文杰,陈懿,陈伟,李章海,张纪利,徐增汉,李洪勋. 不同烤烟品种鲜叶表面提取物主要成分分析. *中国烟草科学*, 2011, 32(3):51-56.
- [5] 赵铭钦,张志逢,姬小明. 不同地区及部位烤烟烟叶中质体色素与常规化学成分含量的有关分析. *江西农业大学学报*, 2009, 31(2): 241-219.
- [6] 杨虹琦,周冀衡,罗泽民,杨述元. 不同产区烤烟中质体色素及降解产物的研究. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 26(5): 640-644.
- [7] 逢涛,宋春满,张谊寒,方敦煌,邓建华,卢秀萍,邓云龙. 云南与津巴布韦烤烟品种烟叶化学成分和致香成分差异分析. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(1): 62-71.
- [8] 殷全玉,王霞,杨铁钊,王新法. 叶面分泌物和中性香气物质在不同烤烟品种(系)和地区间的变化及其与常规化学成分的关系. *中国烟草学报*, 2010, 16(3): 17-23.
- [9] 贾燕超,刘培玉,杨铁钊,张小全,赵云波,李占杰,赵伟才. 不同生态区烤烟基因型间烟叶基础香味物质的差异分析. *江西农业学报*, 2011, 23(1): 31-34.
- [10] 李章海,李继新,潘文杰,梁贵林,朱显灵. 贵州不同生态区域烤后烟叶表面提取物差异及其对烟叶风格的影响. *中国烟草科学*, 2011, 32(5): 1-5.
- [14] 王苏斌,郑海淘,邵谦谦. SPSS 统计分析. 北京:机械工业出版社,2003.
- [16] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用. 北京:科学出版社,1991:11-34.
- [17] 周冀衡,王勇,邵岩,杨虹琦,李永平,朱列书. 产烟国部分烟区烤烟质体色素及主要挥发性香气物质的含量比较. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 31(2): 128-132.
- [18] 宋朝鹏,高远,武圣江,许自成,宫长荣,张卫建. 密集烘烤定色期烟叶类胡萝卜素降解及相关酶活性变化. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2875-2881.
- [19] 雷志栋,杨诗秀,许志荣, G·瓦肖尔. 土壤特性空间变异初步研究. *水利学报*, 1985(9): 10-21.
- [20] 刘录祥,孙其信,王士芸. 灰色系统理论用于作物新品种综合评估初探. *中国农业科学*, 1989, 22(3): 22-27.
- [21] 宫长荣,赵铭钦,汪耀富,李锐. 不同烘烤条件下烟叶色素降解规律的研究. *烟草科技*, 1997(2): 33-34.
- [23] 侯英,徐济仓,王保兴,杨燕,杨勇,王玉,刘静. 叶黄素的热解产物分析. *烟草科技*, 2007(12): 27-32.
- [25] 冀浩,李雪君,赵永振,张华,魏跃伟,崔红. 浸提叶面分泌物对烤烟品质的影响. *中国烟草科学*, 2008, 29(2): 13-17.
- [26] 韩锦峰,刘卫群,杨素勤,吕巧玲,韩富根,洪涛,王彦亭,侯文华,黄元炯. 海拔高度对烤烟香气物质的影响. *中国烟草*, 1993(3): 1-3.
- [28] 徐昌杰,张上隆. 植物类胡萝卜素的生物合成及其调控. *植物生理学通讯*, 2000, 36(1): 64-67.
- [29] 赵宸楠,赵二卫,肖炳光,曾建敏,邓云龙,姚姗姗,朱晓宇,崔红. 不同生态区烤烟质体色素生物合成规律及色素含量比较. *西北农业学报*, 2010, 19(12): 68-71.
- [30] 席元肖,魏春阳,宋纪真,周汉平,刘阳,过伟民,张仕祥. 不同香型烤烟化学成分含量的差异. *烟草科技*, 2011, 5: 29-33.
- [31] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,杨述元. 不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 30(1): 20-23.
- [32] 邓小华,谢鹏飞,彭新辉,易建华,周冀衡,周清明,蒲文宣,代远刚. 土壤和气候及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2063-2071.
- [33] 崔红,冀浩,杨惠娟,肖炳光,曾建敏,邓云龙. 不同生态区烟草的叶面膜毛基因表达. *生态学报*, 2011, 31(11): 3143-3149.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P.
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of
Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吴文良

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元