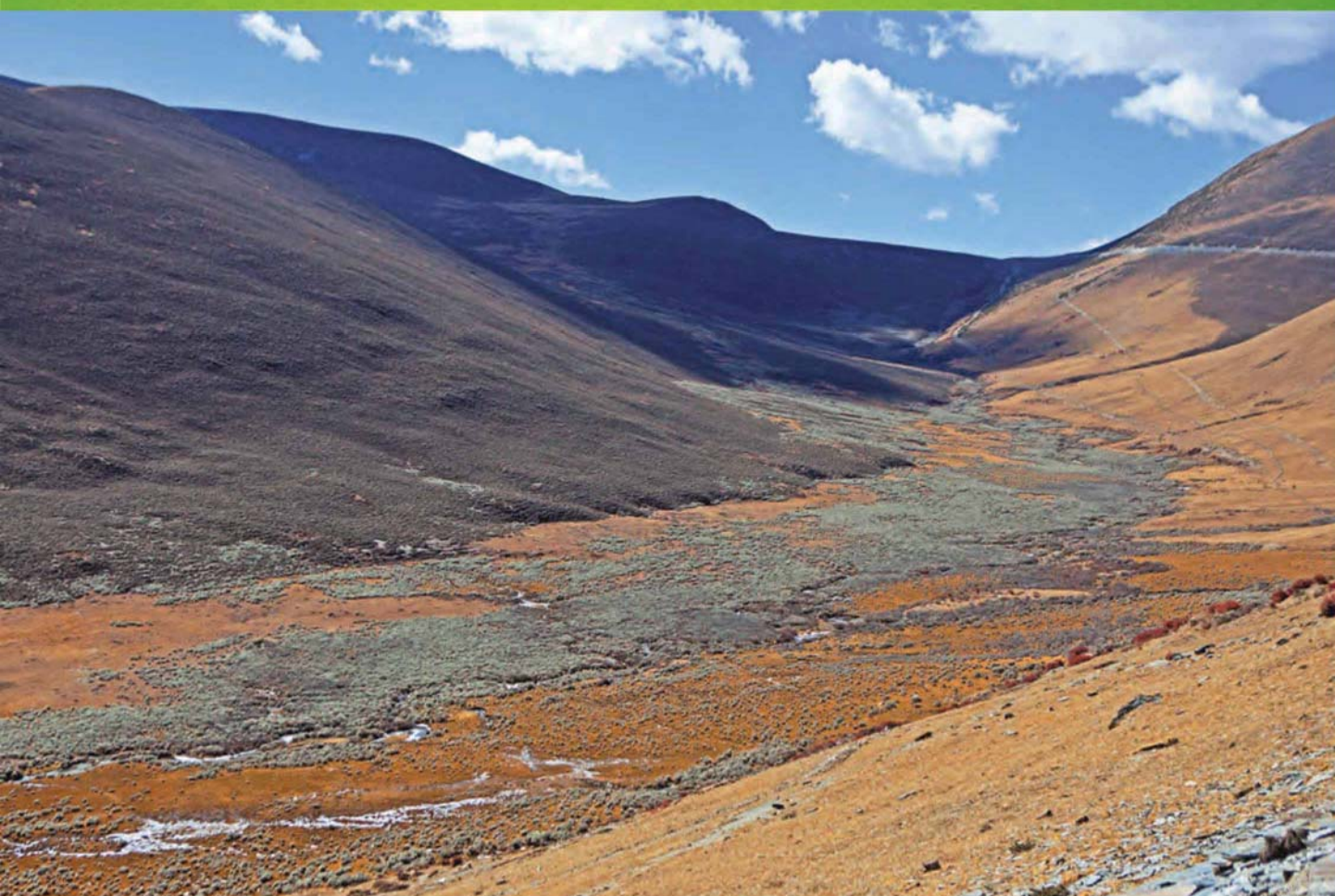


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

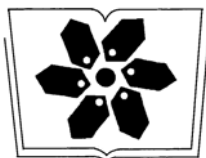
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
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 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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/stxb201304110679

吴彦辉, 薛立新, 许自成, 许仪, 邵惠芳, 金磊, 黄五星, 刘春奎. 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5686-5695.

Wu Y H, Xue L X, Xu Z C, Xu Y, Shao H F, Jin L, Huang W X, Liu C K. Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5686-5695.

断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响

吴彦辉^{1, 2}, 薛立新², 许自成^{1, *}, 许仪², 邵惠芳¹, 金磊², 黄五星¹, 刘春奎³

(1. 河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; 2. 河南省烟草公司济源市公司, 济源 454650;

3. 郑州轻工业学院, 郑州 450002)

摘要:河南济源烟区存在着烟叶糖碱比高、有机钾指数较低的生产现状,通过田间试验研究了打顶时断根(C)、打顶时断根结合喷施 IAA(C+I)、打顶时断根结合追施钾肥(C+K)、打顶时断根结合喷施 IAA 并追施钾肥(C+K+I)和对照(CK)5 种处理对烤烟生物量及糖碱比、有机钾指数的影响。结果表明:不同调控措施在烟株成熟期较对照均能增加根部、叶片的干重,减少烟碱、总糖在中上部烟叶的累积。断根结合喷施 IAA 能降低各部位烟叶的糖碱比,且以 C+K+I 处理的降幅最大,在下、中、上叶位中较对照分别降低了 19.12%、15.33%和 8.15%。与对照相比,各处理均能提高不同部位烟叶 K⁺含量,降低 Cl⁻和 SO₄²⁻含量。C+K+I 处理能极显著提高各部位烟叶的有机钾指数,且在中上部烟叶中增幅最大,较对照分别提高了 125.00%和 209.43%。总的看来,打顶时断根结合喷施 IAA 并追施钾肥能促进烟叶中的干物质积累、降低糖碱比、提高有机钾指数,进而提高烟叶的内在品质。

关键词:烤烟;断根;生长素;钾肥;生长;糖碱比;有机钾指数

Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco

WU Yanhui^{1, 2}, XUE Lixin², XU Zicheng^{1, *}, XU Yi², SHAO Huifang¹, JIN Lei², HUANG Wuxing¹, LIU Chunkui³

1 College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Jiyuan Branch of Henan Provincial Tobacco Company, Jiyuan 454650, China

3 Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China

Abstract: The total sugars and nicotine content in tobacco leaves affects the acid-base balance, while the ratio of total sugars to nicotine reflects the balance between tobacco taste and stimulation. The Project of International Quality Tobacco Development specified that the suitable ratio of total sugars to nicotine in Chinese tobacco was 8—12. Tobacco with high potassium content burns well with little tar release and has a satisfactory flavor. However, higher Cl⁻ and SO₄²⁻ contents in tobacco are associated with lower potassium contents and reduced leaf flammability. The combination of potassium and organic acids contributes to the combustibility of tobacco leaf. The organic potassium index is the total potassium content minus the combined contents of Cl⁻ and SO₄²⁻. As a composite index, the organic potassium index reflects all the ions that affect the quality of flue-cured tobacco. The combustibility of tobacco with a low organic potassium index will be low, even if its total potassium content is relatively high. Varieties of flue-cured tobacco with a high total sugar:nicotine ratio and a low organic potassium index have been grown in tobacco-growing areas of Jiyuan, Henan Province, for a long time. Cutting roots can promote the growth of new roots and improve root activity. Applying auxin and potassium fertilizer can increase the

基金项目:河南省烟草公司科技攻关项目(HYKJ2011M01, HYKJ201043)

收稿日期:2013-04-11; 修订日期:2013-07-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zcxu@sohu.com

potassium content in tobacco leaves, and strengthen the carbon and nitrogen metabolism of flue-cured tobacco after topping. However, the combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on tobacco quality had not been evaluated. In this study, we applied the following five treatments to tobacco: root cutting while topping (C); root cutting and auxin (indole-3-acetic acid; IAA) application while topping (C+I); root cutting and potassium topdressing while topping (C+K); root cutting, IAA application, and potassium topdressing while topping (C+K+I); and topping only (CK). We determined the effects of these treatments on tobacco biomass, the sugar:nicotine ratio, and the organic potassium index of tobacco in field experiments. All of these measures increased the biomass of roots and leaves at the advanced stage of maturity, compared with those of CK. Compared with the C treatment, the C+K+I treatment increased biomass of roots and leaves. All of these measures also decreased nicotine accumulation and total sugar content in upper leaves. Spraying tobacco plants with IAA reduced the sugar:nicotine ratio in various parts of tobacco plants; the largest decrease in the leaf sugar:nicotine ratio was in the C+K+I treatment. In that treatment, the sugar:nicotine ratio in the lower, middle, and upper tobacco leaves decreased by 19.12%, 15.33%, and 8.15%, respectively, compared with those in CK. In all of the treatments, the potassium content increased and the Cl^- and SO_4^{2-} contents decreased, compared with their respective contents in CK. The C+K+I treatment increased the organic potassium index in lower, middle, and upper leaves. The largest increase was in the middle and upper leaves, which showed a 125% and 209% increase in organic potassium index, respectively, compared with that of the respective tissues in CK. From these results, we can conclude that the combination of root cutting, IAA application, and topdressing with potassium fertilizer contributes to the accumulation of dry matter, decreases the sugar:nicotine ratio, and increases the organic potassium index of flue-cured tobacco. Because most tobacco grown in China has a high nicotine content and a low ratio of total sugars to nicotine, this treatment could be used in different areas according to each local situation. Further research is required to clarify the mechanisms by which cutting, plant hormones, and potassium fertilizer treatments cause these physiological changes.

Key Words: flue-cured tobacco; cutting roots; indole-3-acetic acid; potassium; growth; sugar-nicotine ratio; organic potassium index

烟草是一种嗜好性经济作物,含钾量高低是决定烟叶品质的重要因素之一^[1],含钾量高的烟叶持火力强、香吃味足、焦油释放量少^[2-3]。但钾素的助燃降焦作用除与其绝对含量有关外,还与其存在方式有关^[2]。巴斯凯维奇定义了有机钾指数的概念,并认为草酸钾、柠檬酸钾和其它有机酸钾等所含的钾与烟草产品的燃烧速率和焦油释放量关系很大,如果烟草的有机钾指数很低,甚至为负值,即使烟草的总钾量高,烟叶的燃烧性也不会好^[4]。除了钾素以外,总糖和烟碱同样是影响烟叶品质的主要因素,不仅影响烟叶酸碱平衡,而且糖碱比能较好地体现烟叶吃味和刺激性间的协调程度^[5]。围绕着提钾和平衡烟叶化学成分,已进行了大量的研究工作。

在提高烟叶质量的诸多研究中,断根被认为是一种有效的农艺措施。赵正雄^[6]研究发现打顶时断侧根并追施钾肥能提高烟叶钾含量,改善烟草品质。同样地,打顶时喷施生长素亦能提高烟叶钾含量,增强烟株碳氮代谢^[7]。黄淮烟区生产上普遍存在着烟叶钾含量较低、燃烧性不足等问题,河南济源烟区还存在着烟叶糖碱比较高的问题。为此,本文结合济源烟区的气候和土壤因素特点,在烤烟打顶当天进行了不同调控措施的大田试验研究,旨在通过钾素的营养平衡,为协调烟叶糖碱比和提高烟叶有机钾指数提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试烤烟品种为中烟 100。试验于 2012 年在河南省济源市王屋镇太凹村科技示范园进行。供试土壤为黄壤土,基础土壤养分状况为:有机质 1.03%,pH 值 7.62,速效氮 86.6 mg/kg,速效磷 17.4 mg/kg,速效钾 228.0 mg/kg。

1.2 试验设计

设 5 个处理,分别为:(1) 对照(CK),正常打顶;(2) 打顶当天进行断根处理(C);(3) 打顶当天进行断根处理,同时喷施 IAA(C+I);(4) 打顶当天进行断根处理,同时根部追施 K_2SO_4 (C+K);(5) 打顶当天进行断根处理,同时喷施 IAA 和根部追施 K_2SO_4 (C+K+I);

试验采用随机区组排列,每个处理设 3 次重复,共 15 个小区。每个小区植烟 200 株,5 月 25 日移栽,8 月 15 日打顶,打顶当天进行各项处理,植烟行距 1.1 m,株距 0.55 m。试验地 N、P、K 基肥及追肥用量按照当地常规施肥,保持各个小区土壤肥力一

致。断根方法为选择平行茎向、在距烟株茎基部一侧 15 cm 处用长 25 cm×宽 20 cm 的铁铲垂直向下断根,深度在 20 cm 左右。所有追施 K_2SO_4 的用量都为 9 g/株,溶解于 0.5 kg 水中,随水浇入。断根同时需要追施 K_2SO_4 的处理在断根面上灌施,之后使断根面处的土壤弥合;其余追施 K_2SO_4 的处理则于打顶当天根部灌施。叶面喷施 IAA 浓度为 20 mg/kg, IAA 用量为 1.6 g/666.7 m², IAA 溶解方法为先将 1.6 g IAA 溶解于 5.0 g 酒精中,再按浓度溶解于水中。

1.3 测定指标与方法

在烤烟大田生长打顶当天、下部叶采收前(打顶后 10d)、中部叶采收前(打顶后 25d)和上部叶采收前(打顶后 40d),每个处理选取有代表性的烟株(3 株),进行整株收获,分离根、茎、叶,用清水冲洗后,滤纸吸干,将根茎叶分开,在 105 °C 下杀青 15 min,然后在 60 °C 下烘干,分别称取根、茎、叶的干重。

取烘烤后各处理的上桔二(B_2F),中桔三(C_3F),下桔二(X_2F)烟叶各 1 kg,按《烟草化学品质分析法》^[8]测定所取烟叶的总糖、烟碱、 K^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量。有机钾指数(%)的计算公式为: $1.20(K^+ \% - 1.10Cl^- \% - 0.81SO_4^{2-} \%)$ ^[4]。

1.4 数据处理

采用 Excel、SPSS19.0 统计软件进行试验数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同调控措施对烤烟生物量的影响

从烟株打顶后的成熟阶段干物质累积来看(图 1—图 3),根和茎的生物量均呈增加趋势,叶片生物量从打顶当天到下部叶采收前,持续增加,伴随着叶片的不断成熟采收,总叶片干重表现为下降的趋势。根系在烟株生长后期由于打顶的作用而得以继续生长,自打顶当天至上部叶成熟采收,不同处理的根系生物量都大于对照,这与断根促进了侧根的发育与生长有关。打顶后 10d 和 25d,处理间均无显著差异,至打顶后 40d,根系的生物量累积大小为: $C+K$ (93.69 g) > $C+K+I$ (92.69 g) > C (83.29 g) > $C+I$ (71.48 g) > CK (66.52 g),其中追施钾肥的两个处理显著大于对照,但与剩余两处理间无显著差异。打顶后不同时期,对照和 $C+K+I$ 处理的茎干重始终处于较低的水平,且都显著小于单独断根处理,说明单独断根能促进茎内干物质的积累。下部叶采收前,各处理叶片的生物量都大于对照,但处理间未达到显著差异;中部叶采收前,除 $C+I$ 处理外,其余各处理叶片干重都显著大于对照,且处理间差异不显著;至上部叶采收, $C+K$ 和 $C+K+I$ 处理的叶干重显著大于对照,其余两处理生物量也大于对照,但差异不显著。

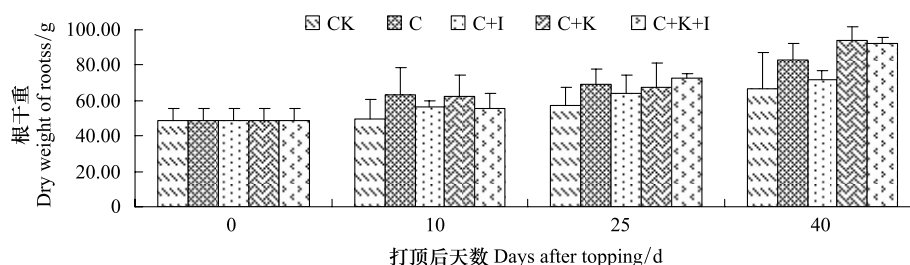


图 1 不同调控措施下烤烟根系干重的比较

Fig.1 The comparison of dry weight of flue-cured tobacco roots under different treatments

CK:对照;C:打顶时断根;C+I:打顶时断根结合喷施 IAA;C+K:打顶时断根结合追施钾肥;C+K+I:打顶时断根结合喷施 IAA 并追施钾肥

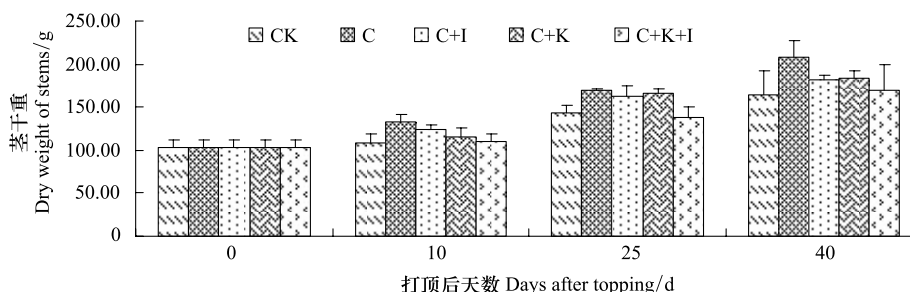


图 2 不同调控措施下烤烟茎干重的比较

Fig.2 The comparison of dry weight of flue-cured tobacco stems under different treatments

2.2 不同调控措施对烤烟烟碱、总糖及糖碱比的影响

2.2.1 对烤烟烟碱和总糖含量的影响

断根条件下施用生长素和钾肥对济源烤烟不同部位叶片的烟碱、总糖含量影响见图 4—图 6。结果表明,下部叶中,处理

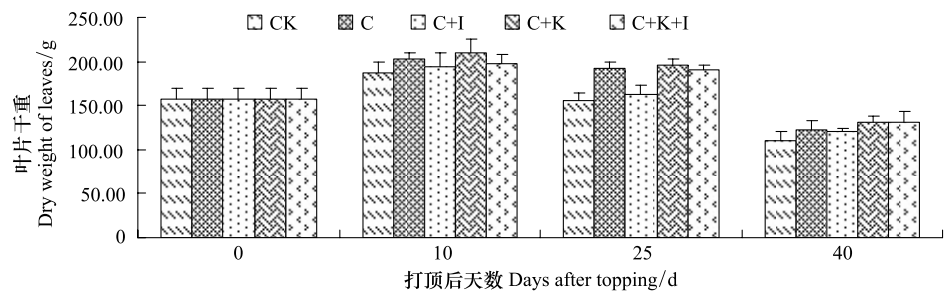


图 3 不同调控措施下烤烟叶片干重的比较

Fig.3 The comparison of dry weight of flue-cured tobacco leaves under different treatments

C+K的烟碱含量略低于对照,其余处理的烟碱含量均大于对照,但对于中上部烟叶,各调控措施都降低了烟碱的含量。喷施 IAA 的中部叶分别比相应的未喷施处理烟碱含量有所增加,而上部叶却表现出了相反的规律,说明不同处理对不同叶位的烟碱含量影响存在差异,单独断根的中部叶烟碱含量最低,较对照降幅为 15.03%;C+I 处理的上部叶烟碱含量最低,较对照降幅为 10.40%,生产上应根据具体情况采取合适的降碱措施。对于总糖含量,不同处理的中上部烟叶均比对照低,降幅达到 5.67%—16.35%,C+K 处理的总糖降幅最小,降幅最大的处理中都包含着断根和喷施 IAA。下部叶中单独断根或结合追施钾肥的总糖含量均比对照高,最大增幅为 7.57%;而同时断根和喷施 IAA 则降低了总糖含量,最大降幅为 4.21%。表明各处理对下部叶总糖含量影响不大,同时断根结合追施钾肥对中上部叶糖代谢影响较小,断根结合喷施 IAA 则较大幅度地降低了烟叶中的总糖含量。

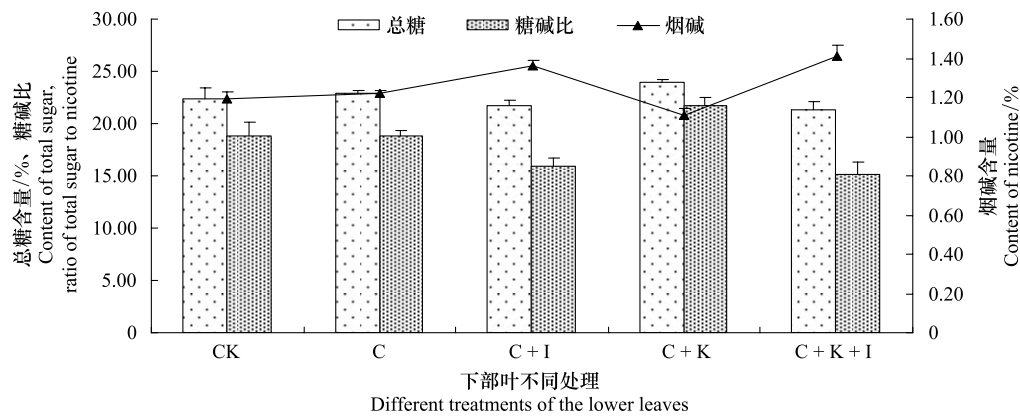


图 4 不同调控措施对烤烟下部叶烟碱、总糖及糖碱比的影响

Fig.4 Effects of different treatments on nicotine, total sugar, and ratio of total sugar to nicotine in lower leaves of flue-cured tobacco

2.2.2 对烤烟糖碱比的影响

应用方差分析方法比较了不同叶位各个处理之间糖碱比的差异(表 1)。结果表明,济源烤烟各部位烟叶的糖碱比均较高,超出了“国际型优质烟叶”所要求的 8—12 的范围^[9],烟叶属于高糖低碱型,燃吸时,酸碱不平衡,烟气淡而无味,失去了应有的吃味强度。下部叶中,各个处理的糖碱比大小为:C+K+I(15.19)<C+I(15.96)<CK(18.78)<C(18.82)<C+K(21.65),对

表 1 不同调控措施对烟叶糖碱比的影响

Table 1 Effects of different treatments on ratio of total sugar to nicotine in tobacco leaves

处理 Treatments	下部叶 Lower leaves	中部叶 Middle leaves	上部叶 Upper leaves
CK	18.78 bB	19.64 aAB	18.15 aA
C	18.82 bB	20.68 aA	17.57 aA
C+I	15.96 cC	19.51 aAB	17.46 aA
C+K	21.65 aA	21.6 aA	17.28 aA
C+K+I	15.19 cC	16.63 bB	16.67 aA

同一列小写字母不同表示处理间差异达到显著水平($P<0.05$);大写字母不同表示处理间差异达到极显著水平($P<0.01$)

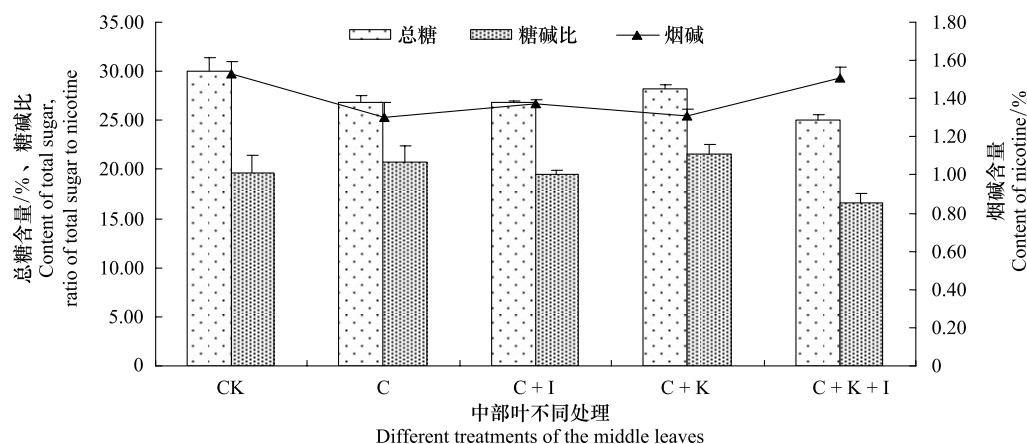


图5 不同调控措施对烤烟中部叶烟碱、总糖及糖碱比的影响

Fig.5 Effects of different treatments on nicotine, total sugar, and ratio of total sugar to nicotine in middle leaves of flue-cured tobacco

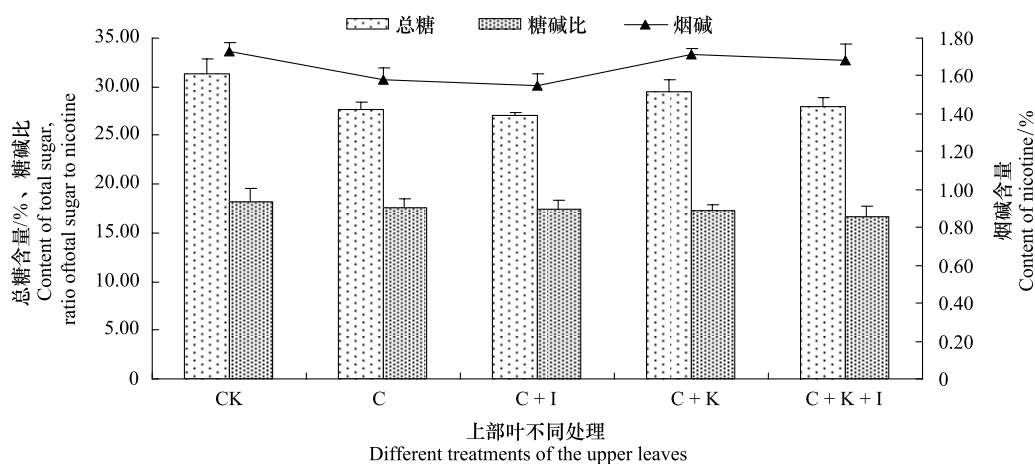


图6 不同调控措施对烤烟上部叶烟碱、总糖及糖碱比的影响

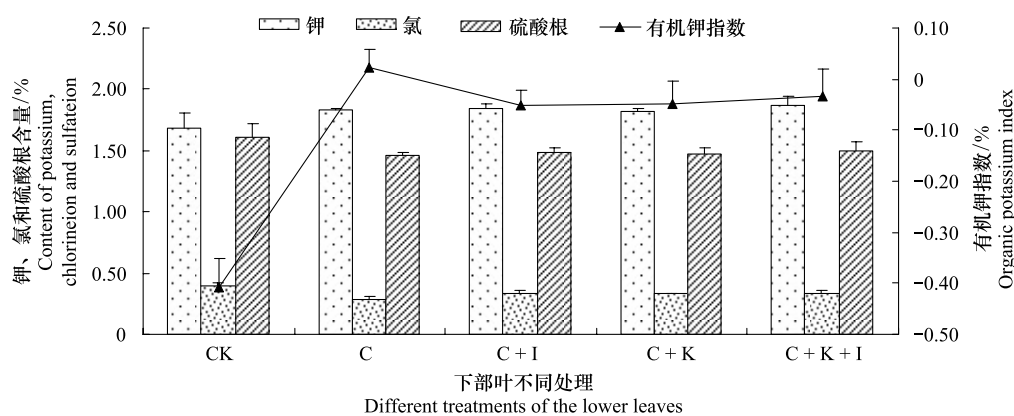
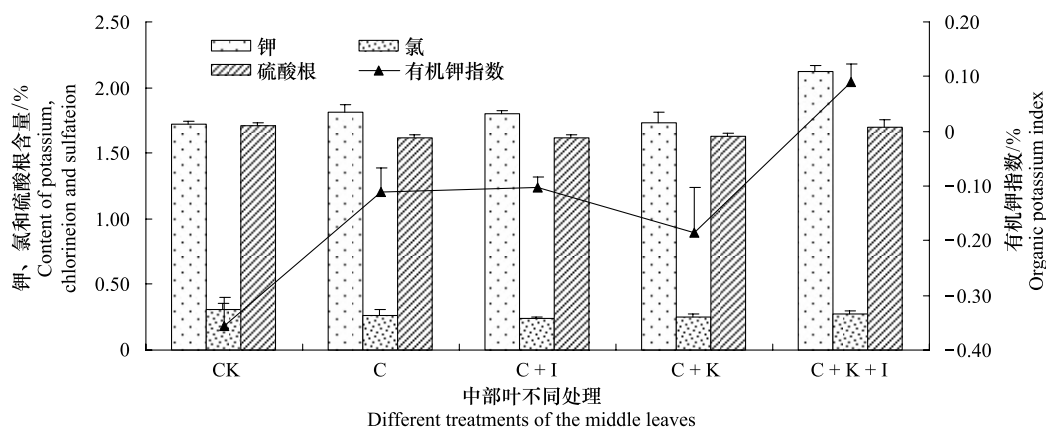
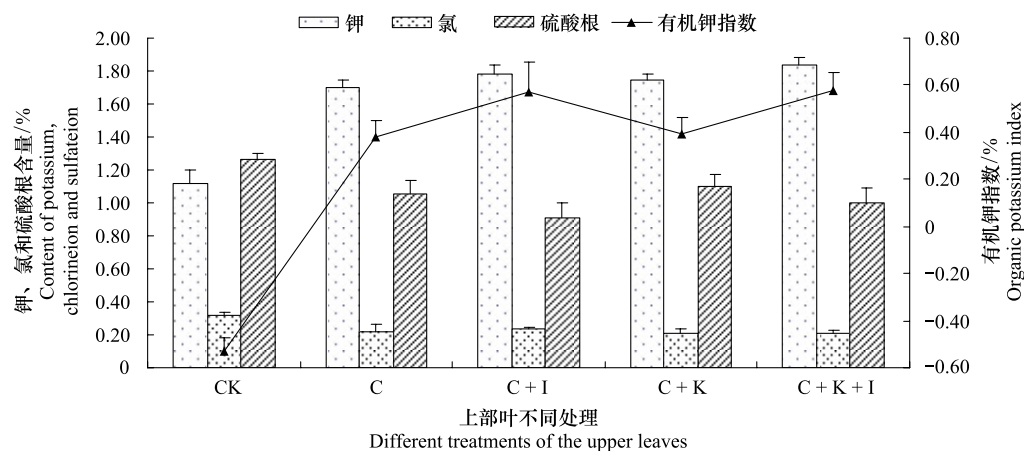
Fig.6 Effects of different treatments on nicotine, total sugar, and ratio of total sugar to nicotine in upper leaves of flue-cured tobacco

照与后3个处理间的糖碱比差异均达到显著水平,不同的是断根和喷施 IAA 或结合追钾糖碱比显著降低,而断根结合追钾则显著提高了糖碱比,同时与单独断根相比也达到显著差异。在差异显著性达到 0.01 水平下,下部叶糖碱比差异表现出了相同的结果。中部叶 C+K+I 处理的糖碱比显著小于对照和其余处理,较对照降幅为 15.33%,同时与断根或结合追钾处理之间达到极显著差异,对照与剩余处理间差异不显著,但断根或结合追钾的糖碱比大于对照。上部叶中,所有处理的糖碱比都小于对照,但处理间均未达到显著差异,其中仍以 C+K+I 处理的糖碱比最低,相比对照减幅达到 8.15%。

2.3 不同调控措施对烤烟 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和有机钾指数的影响

2.3.1 对烤烟 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量的影响

由图 7、图 8 和图 9 可以看出,不同处理各部位烟叶的钾含量都大于对照,断根结合喷施 IAA 的钾含量始终处于较高的水平,而各部位烟叶中,C+K+I 处理的钾最高,下中上部烟叶钾含量较对照增幅分别达到 11.31%、23.26% 和 64.29%。这说明,随着时间的延长,试验措施能更充分地发挥其调控作用。由于钾素通过韧皮部由地上部向根部回流及通过根系外排是打顶后烟叶含钾量降低的主要原因,打顶后运往地上部的钾回流到根中比例大约有 50%—70% 左右^[10],因此可以猜想,断根结合喷施 IAA 和追钾处理能较大幅度地阻止钾素回流和通过根系外排。不同叶位的含氯量在不同处理间较为接近,但各部位不同处理的烟叶含氯量均小于对照,下部叶略高于中上部,中上部的氯含量则基本一致。这说明试验处理能减少烟叶中氯的累积,但不同调控措施间氯的积累差异不大。各处理不同部位烟叶 SO_4^{2-} 含量同样表现为对照最高,不同部位的累积量大小为:中部叶>下部叶>上部叶。追施钾肥较不追钾处理各部位烟叶 SO_4^{2-} 含量略微增加,且 C+K+I 处理增幅更大,较 C+I 处理中上部分别增加 4.94%、9.89%。表明打顶当天追施 K_2SO_4 能同时促进烟株对 K^+ 和 SO_4^{2-} 的吸收,但烟株对 K^+ 吸收能力远大于 SO_4^{2-} ,对 SO_4^{2-} 的吸收能力很低,此结果与周冀衡^[11]研究一致。

图7 不同调控措施对烤烟下部叶 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和有机钾指数的影响Fig.7 Effects of different treatments on the contents of K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and organic potassium index in lower leaves of flue-cured tobacco图8 不同调控措施对烤烟中部叶 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和有机钾指数的影响Fig.8 Effects of different treatments on the contents of K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and organic potassium index in middle leaves of flue-cured tobacco图9 不同调控措施对烤烟上部叶 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和有机钾指数的影响Fig.9 Effects of different treatments on the contents of K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} and organic potassium index in upper leaves of flue-cured tobacco

2.3.2 对烤烟有机钾指数的影响

烟叶中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 过多对烟叶的含钾量和燃烧性有较大负面影响^[4],有机钾指数能综合表征各离子的作用,其大小对烤烟

品质影响更大。应用方差分析方法比较了不同叶位各个处理之间有机钾指数的差异(表2)。结果表明,下部叶不同处理的有机钾指数均比对照高,且差异达到极显著水平,但不同试验处理间无显著差异,单独断根的有机钾指数最高,为0.02%,其余处理都为负值。尽管喷施 IAA 或追施钾肥烟叶中的钾含量都较高,但同时增加了 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的吸入量,导致烟叶的燃烧性变差,焦油释放量增加^[3]。对于中部叶,同样以对照的有机钾指数最低,且极显著小于试验处理,C+K+I 的有机钾指数极显著大于剩余处理,剩余处理间无显著差异。上部叶有机钾指数在处理间的大小为:CK (-0.53%) < C (0.38%) < C+K (0.4%) < C+I (0.57%) < C+K+I (0.58%),断根结合喷施 IAA 较其余处理显著提高了有机钾指数,而断根或结合追施钾肥较对照也显著提高了有机钾指数,追施钾肥对上部叶有机钾指数影响较小。试验处理的上部叶有机钾指数与对照之间差异达到极显著水平,四个处理间无显著差异。C+K+I 处理的有机钾指数整体处于较高的水平,其下中上叶位较对照分别增加了 92.68%、125.00% 和 209.43%,增幅较大。

表2 不同调控措施对烟叶有机钾指数的影响

Table 2 Effects of different treatments on the organic potassium index in tobacco leaves

处理 Treatments	下部叶/% Lower leaves	中部叶/% Middle leaves	上部叶/% Upper leaves
CK	-0.41 bB	-0.36 cC	-0.53 cB
C	0.02 aA	-0.11 bB	0.38 bA
C+I	-0.05 aA	-0.10 bB	0.57 aA
C+K	-0.05 aA	-0.19 bB	0.4 bA
C+K+I	-0.03 aA	0.09 aA	0.58 aA

3 结论与讨论

(1) 断根能促进新根的生长,提高根系活力,改善烟株体内氮素营养状况,使烟叶光合效能增加,光合产物增加^[12],田间表现为烟叶颜色更绿,落黄更慢^[13],这对烟株后期的正常成熟落黄是不利的。打顶后喷施 IAA 使烟株生长后期顶端优势得以继续保持,增强地上部对同化产物的竞争能力,减少根系有机物的供应,从而限制其对养分的吸收,利于烟叶的正常成熟落黄。不同调控措施下烤烟各部位干重结果表明,断根同时喷施 IAA 较未喷施的处理能减少各部位干物质的累积,追施 K_2SO_4 则能增加干物质的含量,因追施 K_2SO_4 处理的根系 ATP 酶活性较高,ATP 酶是根系吸收养分的基础和必备条件^[14-16]。对于下中上部叶,C+K+I 处理的叶片干重较对照分别提高了 5.41%、23.25% 和 19.19%,总体而言,C+K+I 处理的叶片干物质累积量处于较高的水平,经济效益较好。

(2) 打顶对烟草最大的影响可能是顶端的去除导致生长素的急剧降低,IAA 含量的下降作为第一信号,沿木质部向下运输到根,引起根的第 2 信使——ABA 的增加和 GA_3 的降低,激活烟碱合成的酶,进而促进烟碱的合成^[17-18]。打顶后喷施 IAA 降低了烟碱的合成,可能是由于其向根系传递终止了合成烟碱的信号。断根处理使烟株根系群受损,减少了烟碱的合成量^[19]。各项处理的中上部烟叶烟碱含量的降低,印证了上述结果。下部叶出现烟碱含量的上升可能是由于断根初期烟草受到机械伤害,伤害刺激通过 Peña-Cortés 模型^[20]或 Bergey 伤害信号传递模型^[21]导致短期内 ABA 含量的升高和 JA 的生物合成,引起 pin 基因活化,从而产生次生代谢物,烟碱的合成增多^[22]。随着时间的延长,根系新根得到生长,恢复了部分功能,烟碱合成降低。对于总糖,正常打顶后,烟株体内代谢以氮代谢为主转为以碳代谢为主,打顶当天涂抹 IAA 和追施钾肥,能增强淀粉的碳代谢,促使烤后样中积累较多的总糖含量^[7]。但打顶时断根追钾措施明显促进了烟株后期的生长,使烟株颜色更绿、落黄更慢,延长了氮代谢的时间,进而导致淀粉积累不足,烘烤后总糖含量降低。本研究结果表明,断根结合喷施 IAA 能明显降低烟叶总糖含量,降幅大于单独断根,其综合调控机理还有待探究。断根和喷施 IAA 或结合追钾都能降低各个部位糖碱比,而断根或结合追钾则能提高中下部烟叶的糖碱比,这说明,IAA 对烟叶的糖碱比影响较大,在断根条件下喷施 IAA 能起到降低济源烟叶糖碱比的作用。相比 C+I 处理,同时追钾也能降低各个部位糖碱比,但断根条件下单纯追施钾肥则能提高中下部烟叶糖碱比,说明钾肥对不同调控措施的影响不同,大田生产中要结合实际情况决定追钾与否。C+K+I 处理能显著降低中下部烟叶糖碱比,降幅达 15.33% 和 19.12%;能较明显降低上部叶糖碱比,降幅达 8.15%,使济源地区烟叶化学成分趋向平衡。

(3) 钾离子通道基因表达是调控烟株体内钾素累积和分配的关键,NKT1 是调控烟株从土壤中吸收 K^+ 的主要内流型钾离子通道基因,而 NTORK1 是唯一调控 K^+ 外流的外流型钾离子通道基因^[23]。打顶能够抑制 NKT1 和 NTORK1 基因在叶中表达,诱导其在根中表达,同时 NKT1 叶中表达量高于根,NTORK1 在打顶 14 天后根中表达量高于叶,导致打顶后 K^+ 从根系细胞质膜中流出,整株烟钾素累积量降低,叶片中钾分配比重增大。打顶后叶中 IAA 含量降低,根中 IAA 含量增加,IAA 在烟株不同部位的含量变化可能是调控钾离子通道基因表达的主要原因^[23-25]。打顶后叶面喷施 IAA 能够显著提高烟叶钾含量^[6],可能是由于外源 IAA 影响了烟株内源激素的含量进而调控 NKT1 和 NTORK1 基因所致。断根能显著降低 IAA 在根系上的积累,断根 30d 后能促进 IAA 在烟叶的积累^[26],本试验断根处理的钾含量在不同叶位都较对照高,印证了上述的结果,而 C+K+I 处理的最高

钾含量则是上述调控措施的综合体现。结果还显示,断根能抑制烟株对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的吸收,这可能与烟株根系群的受损有关。不同部位的有机钾指数中,下部叶单独断根处理的有机钾指数最高,较对照增加了 104.88%;中、上部叶 C+K+I 处理的有机钾指数最高,较对照增加了 125.00% 和 209.43%,增幅较大。分析原因是断根减少了烟株钾素的外排,同时抑制了 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的吸收,而喷施 IAA 和追施钾肥需经过一段时间才会发挥其调控作用,此时下部叶已成熟采收。烟株持续生长,断根和喷施 IAA 通过改变烟株不同部位的内源激素含量进而调控钾离子通道基因,促使叶片中积累更多的钾,烟株对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 吸收的减少更导致了有机钾指数的增大。因此,断根条件下喷施 IAA 并且追施钾肥能提高烟叶的有机钾指数,生产上有一定的推广应用价值。

(4) 在影响烟叶燃烧性的矿质元素中,钾和氯的影响最重要,并且通常采用钾氯比来表示烟叶的燃烧性,“国际型优质烟叶”要求钾氯比 ≥ 4 ^[9, 27]。Smith^[28] 研究表明,在同等含量的情况下,硫对烟叶燃烧性的不良影响远远超过氯。近年来,烤烟生产上多采用增施硫酸钾肥来提高烟叶钾含量更是加重了该因素的影响。当烟叶中的硫含量超过 0.7% 时,燃烧性显著减弱,一般将 0.6% 作为游离硫含量的高限^[29]。有机钾指数的计算采用总钾减去与氯离子和硫酸根离子结合的钾,其值更能准确地表征钾含量对烟叶燃烧性的影响,效果优于通常所用的钾氯比和总钾指标。随着有机钾指数的提高,烟叶的静燃速率提高;有机钾指数为负值的烟叶,烟支燃烧速率较慢,甚至熄火。这是因为叶片中氯离子和硫酸根离子的累积使钾与有机酸的结合减少;而草酸钾、柠檬酸钾和其它有机酸钾等所含的钾与烟草产品的燃烧速率关系很大^[4, 30]。一般情况下,有机钾指数为 2%—3% 时,烟叶燃烧速率较快^[4]。

我国烤烟有机钾指数较低的状况已受到了烟草科技工作者的关注。周冀衡^[11] 研究认为,烟田所施钾肥产生的肥效应是 K^+ 与相伴阴离子共同作用的结果,其中 SO_4^{2-} 对烟草生长和 K^+ 吸收产生的影响较大。这是因为烟草对 K^+ 的吸收大于对 SO_4^{2-} 的吸收,烟草根际必然会形成 SO_4^{2-} 的富集,从而对根系生长产生不利的影响。韩锦峰等^[31] 研究表明,施用柠檬酸钾的处理,其钾含量和有机钾指数最高,硫酸根离子含量最低;而施用硫酸钾处理的钾含量和有机钾指数最低,硫酸根离子含量最高。柠檬酸钾处理较硫酸钾处理的有机钾指数提高了 299.25%,硫酸钾处理的有机钾指数为负值,这对烟叶的燃烧性极为不利。目前生产中大量增施硫酸钾肥料已经对烤烟品质产生了负面影响,提高烟叶有机钾指数或为一种有益的尝试。

(5) 在调控烟株生长后期根系吸收活力以改善钾素营养状况研究方面已有不少报道。冀宏杰等^[32] 通过对云南烤烟 K326 品种的生长后期不同断根及追钾措施进行研究,认为打顶同时进行 1 面断根并追施速效钾肥能明显增加烟株各部位叶片含钾量。赵正雄^[6] 的研究表明,打顶时断根并结合追钾对 K326 和云烟 85 烟株中、上部成熟烟叶钾素累积均存在促进作用。同时,断根追钾烟株由于提高了生长后期根系吸收活力,改善了体内氮、钾营养状况,从而使减量施氮条件下的断根追钾就能满足烟株生长需求并达到提高烤烟钾含量和品质的效果^[13]。本试验在改善烟株根系吸收活力的基础上,通过叶面喷施生长素综合调控打顶以后烤烟的生长发育状况,促进了烟株成熟期叶片干物质的积累,显著降低了中下部烟叶的糖碱比,同时极显著提高了各部位烟叶的有机钾指数,使烟叶产量与质量得到提高,但可能增加了用工与生产投入,尚需根据当地情况因地制宜。

References:

- [1] Liu G S. Tobacco Cultivation. Beijing: China Agricultural Press, 2003.
- [2] Wang J M. Analysis on effect of reducing cigarette tar of different potassium. Journal of Zhengzhou University of Light Industry: Natural Science, 2001, 16(4): 62-64.
- [3] Li G D, Yu J J, Dong S D, Li Y G, Luo C X. Correlation analysis on components in flue-cured tobacco grown in Henan province with its smoke components. Tobacco Science and Technology, 2001, (8): 28-30.
- [4] Hu Y C, Liu L Q. Design of the low tar blended cigarettes. Tobacco Science and Technology, 1993, (3): 10-14.
- [5] Xu Z C, Li Y Y, Xiao H Q, Li H W. Status of the contents of mineral elements and their relationships with total sugar and nicotine content in flue-cured tobacco leaves in Hunan province. Journal of Northwest A and F University: Natural Science Edition, 2008, 36(1): 137-148.
- [6] Zhao Z X. Characters of Dry Matter and Potassium Accumulation of Flue-Cured Tobacco After Decapitation and Its Regulatory Measurement in Yunnan [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003.
- [7] Xu Z C, Zhang T, Lu X P, Zhang Y J. Effects of applying indole-3-acetic acid (IAA) and potassium on carbon and nitrogen metabolism of flue-cured tobacco after topping. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(4): 461-465.
- [8] Wang R X, Han F G, Yang S Q, Hou W H. Analysis for Chemical Assessment of Tobacco. Beijing: China Agricultural Press, 2003.
- [9] Chen J H, Liu J L, Long H Y. The distribution characteristics of nutrition elements and main chemical composition in China's tobacco leaves. Acta Tabacaria Sinica, 2004, 10(5): 20-27.
- [10] Zheng X B, Cao Y P, Zhang F S, Zhu Z Q, Li C J, Liu G S, Xie D P. Circulation, accumulation and distribution of potassium in flue? Cured tobacco with different potassium levels. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(2): 166-172.
- [11] Zhou J H. Influence of K^+ and the accompanying SO_4^{2-} , Cl^- on the growth and relevant physiological metabolism of tobacco plant. Acta Tabacaria Sinica, 1994, 2(2): 46-53.
- [12] Luo H B, Qian X G, He T B, Liu F. Effects of cultural methods on photosynthesis of flue-cured tobacco. Soils, 2003, 35(3): 259-261.

- [13] Zhao Z X, Yin H H, Li H G, Tang J M, Li S M. Integrated effects of reducing N application and cutting-roots with K top-dressing on N, K uptake, and yield, quality of flue-cured tobacco. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(7): 1294-1298.
- [14] Xu Z C, Zhang T, Lu X P, Zhang Y J. Effects of applying auxin and potassium fertilizer on root characters and leaf quality of flue-cured tobacco after topping. *Acta Tabacaria Sinica*, 2008, 14(2): 26-30.
- [15] Zhang F S. The New Research Dynamic of Soil and Plant Nutrition. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 64-70.
- [16] Li T X, Zhang X Z, Wang C Q, Zhou J X. Effect of microorganism in rhizosphere and activity of ATP enzyme and CEC of roots on capability of enrichment in potassium of grain amaranth. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2002, 20(4): 354-356.
- [17] Xu X Y, Sun W S, Li Z H. Study on the relevant factors in nicotine biosynthesis and control nicotine formation. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2001, 29(5): 663-666.
- [18] Yan Y Q, Fang Z Y, Wang Z Y, Guo Z H, Xu P. The study on nicotine content of tobacco and its regulatory factors. *Tobacco Science and Technology*, 1996, (6): 31-34.
- [19] Zhao Q B, Tang Y Z, Wang G Z. The review on studies of nicotine synthesis and roles of agronomic regulation in flue-cured tobacco. *Chinese Tobacco Science*, 2005, 26(4): 19-22.
- [20] Peña-Cortés H, Fisahn J, Wilmitzer L. Signals involved in wound-induced proteinase inhibitor II gene expression in tomato and potato plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1995, 92(10): 4106-4113.
- [21] Bergey D R, Ryan C A. Wound-and system-inducible calmodulin gene expression in tomato leaves. *Plant Molecular Biology*, 1999, 40(5): 815-823.
- [22] Liu H S, Tian X Y, Han J F, Bai H Q, Li J X. Tobacco response to the mechanical wounding. *Chinese Tobacco Science*, 2009, 30(3): 58-62.
- [23] Dai X Y, Su Y R, Wei W X, Chen F L, Long W, Fan Y K, Chen X B. Effects of topping on potassium metabolism and expression of potassium channels in tobacco plants. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(3): 854-861.
- [24] Guo L Z, Zhang F S, Li C J. Effects of decapitation on growth, uptake and distribution of potassium in tobacco. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 819-822.
- [25] Han J F, Liu H S, Zuo T. Research progress on K^+ efflux from flue-cured tobacco roots. *Acta Tabacaria Sinica*, 2010, 16(6): 104-107.
- [26] Liao M L. Effect of H A. Girgling and root-cutting on the potassium accumulation and its relation with hormones of tobacco planting [D]. Nanning: Guangxi University, 2011.
- [27] Yan K Y. Tobacco Chemistry. Zhengzhou: Zhengzhou University Press, 2002.
- [28] Smith W D. Tobacco response to sulfur on soils differing in depth to the argillic horizon. *Tobacco Science*, 1987, 31: 36-39.
- [29] Chouteau J, Fauconnier D. Tobacco Fertilizing for High Quality and Yield. Worblaufen-Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1988.
- [30] Liu Q, Cao Z H. Research progress of the sulphur status and quality of tobacco. *Soils*, 1998, (6): 320-323.
- [31] Han J F, Yang S Q, Wang Y H, Yue C P, Zhang X Y. The effects of different potassium fertilizer on potassium content and photosynthetic characteristics in flue-cured tobacco leaves. *Acta Tabacaria Sinica*, 2002, 8(3): 22-25.
- [32] Ji H J, Li C J, Zhang F S, Hong L F, Zhang J. Effects of different cutting-roots and K top-dressing measures at later growth stage on K-concentration in leaves of flue-cured tobacco plants in Yunnan Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 83-86.

参考文献:

- [1] 刘国顺.烟草栽培学.北京:中国农业出版社, 2003.
- [2] 王建民.几种钾盐的降焦效果分析.郑州轻工业学院学报:自然科学版, 2001, 16(4): 62-64.
- [3] 李国栋, 于建军, 董顺德, 李耀光, 罗灿选.河南烤烟化学成分与烟气成分的相关性分析.烟草科技, 2001, (8): 28-30.
- [4] 胡有持, 刘立全.低焦油混合型卷烟的设计.烟草科技, 1993, (3): 10-14.
- [5] 许自成, 黎妍妍, 肖汉乾, 李挥文.湖南烤烟营养元素含量与总糖和烟碱的关系.西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(1): 137-148.
- [6] 赵正雄.云南烤烟打顶后的干物质与钾素积累规律及其调控 [D].北京:中国农业大学, 2003.
- [7] 许自成, 张婷, 卢秀萍, 张延军.打顶后施用生长素(IAA)和钾肥对烤烟碳氮代谢的影响.生态学杂志, 2007, 26(4): 461-465.
- [8] 王瑞新, 韩富根, 杨素勤, 侯文华.烟草化学品质分析法.北京:中国农业出版社, 2003.
- [9] 陈江华, 刘建利, 龙怀玉.中国烟叶矿质营养及主要化学成分含量特征研究.中国烟草学报, 2004, 10(5): 20-27.
- [10] 郑宪滨, 曹一平, 张福锁, 朱尊权, 李春俭, 刘国顺, 谢德平.不同供钾水平下烤烟体内钾的循环、累积和分配.植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 166-172.
- [11] 周冀衡. K^+ 与相伴阴离子 (SO_4^{2-} , Cl^-) 对烟草生长和有关生理代谢的影响.中国烟草学报, 1994, 2(2): 46-53.
- [12] 罗海波, 钱晓刚, 何腾兵, 刘方.增施氮肥和环割对烤烟光合速率的影响.土壤, 2003, 35(3): 259-261.
- [13] 赵正雄, 殷红慧, 李宏光, 唐加敏, 李少明.断根追钾条件下减量施氮对烟株后期氮、钾吸收及烟叶产量质量的影响.作物学报, 2008, 34(7): 1294-1298.
- [14] 许自成, 张婷, 卢秀萍, 张延军.打顶后施用生长素和钾肥对烤烟根系性状及品质的影响.中国烟草学报, 2008, 14(2): 26-30.

- [15] 张福锁.土壤与植物营养研究新动态.北京:中国农业出版社,1995:64-70.
- [16] 李廷轩,张锡洲,王昌全,周建新.根系 CEC、ATP 酶活性和根际微生物对籽粒苋富钾能力的影响.四川农业大学学报,2002,20(4):354-356.
- [17] 徐晓燕,孙五三,李章海.烟碱的生物合成及控制烟碱形成的相关因素.安徽农业科学,2001,29(5):663-666.
- [18] 闫玉秋,方智勇,王志宇,郭在宏,许萍.试论烟草中烟碱含量及其调节因素.烟草科技,1996,(6):31-34.
- [19] 招启柏,汤一卒,王广志.烤烟烟碱合成及农艺调节效应研究进展.中国烟草科学,2005,26(4):19-22.
- [22] 刘华山,田效园,韩锦峰,白海群,李晶新.烟草对机械伤害的响应.中国烟草科学,2009,30(3):58-62.
- [23] 代晓燕,苏以容,魏文学,陈风雷,龙文,范业宽,陈香碧.打顶对烤烟植株钾素代谢和钾离子通道基因表达的影响.中国农业科学,2009,42(3):854-861.
- [24] 郭丽琢,张福锁,李春俭.打顶对烟草生长、钾素吸收及其分配的影响.应用生态学报,2002,13(7):819-822.
- [25] 韩锦峰,刘华山,左涛.烤烟根系 K^+ 外流的研究进展.中国烟草学报,2010,16(6):104-107.
- [26] 廖曼玲.黄腐酸、环割和断根对烟株钾积累的影响及其与内源激素的关系 [D].南宁:广西大学,2011.
- [27] 闫克玉.烟草化学.郑州:郑州大学出版社,2002.
- [30] 刘勤,曹志洪.烟草硫素营养与烟叶品质研究进展.土壤,1998,(6):320-323.
- [31] 韩锦峰,杨素勤,王永华,岳彩鹏,张秀英.不同相伴阴离子钾肥对烤烟光合特性、钾含量及化学成分的影响.中国烟草学报,2002,8(3):22-25.
- [32] 冀宏杰,李春俭,张福锁,洪丽芳,张俊.生长后期不同断根及追钾对云南烤烟含钾量的影响.中国生态农业学报,2004,12(1):83-86.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiji, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《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 陈利顶

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 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 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