

# 垄高与有机肥施用比例对烤烟根系生长及上部烟叶质量的影响

谢晋<sup>1</sup> 李谨成<sup>1</sup> 梁增发<sup>1</sup> 黄浩<sup>1</sup> 张玺<sup>1</sup> 高仁吉<sup>1</sup>  
金保锋<sup>1</sup> 曾繁东<sup>1</sup> 卢志伟<sup>2</sup> 蔡一霞<sup>3</sup> 王维<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>广东中烟工业有限责任公司, 510610, 广东广州; <sup>2</sup>贵州中烟工业有限责任公司, 550000, 贵州贵阳; <sup>3</sup>华南农业大学, 510640, 广东广州)

**摘要** 采用大田试验研究不同起垄高度与有机肥施用比例对普洱烟区植烟土壤温湿度、烟株根系、烤后上部烟叶质量的影响。结果表明, 烟株生长前期垄体温湿度主要受起垄高度影响, 土壤温度随起垄高度的升高而升高, 相对含水率呈下降趋势, 生长后期则以有机肥比例影响为主, 其与土壤温湿度呈正相关; 因裸期随起垄高度增高, 有机肥比例减小, 根系活力增强, 根系干物质积累量增多, 旺长期以 30 cm 起垄高度和 50% 有机肥比例处理更有利于增强根系活力和增加根系干物质积累量; 30 cm 起垄高度和 50% 有机肥比例处理的烤后烟叶糖碱比和氮碱比更接近优质烟叶要求比值。综合分析认为, 30 cm 垄高配合 50% 有机肥+50% 无机肥可改善植烟土壤的温度与湿度, 促进烟株根系生长发育并维持其活力, 同时改善烤后上部烟叶的化学成分协调性, 提升其综合品质。

**关键词** 起垄高度; 有机肥比例; 土壤温湿度; 烟株根系; 烟叶质量

我国烤烟栽培普遍采用垄耕法, 不同的垄体高度对土壤温度产生显著影响<sup>[1]</sup>。李宝石等<sup>[2]</sup>、王立革等<sup>[3]</sup>研究发现, 增加起垄高度可增加不同土层地温, 且随着垄体高度的增加地温提高效果越显著, 垄体高度增加, 垄体土壤受光总面积同步增加, 土壤接收的热量增加, 温度相应提高。根区温度是影响烟株生长发育的重要生态因子之一, 尤其是生育前期其影响作用更为显著, 邱尧等<sup>[4]</sup>研究发现, 提高根部温度, 烟株根系活力上升, 有利于烟株移栽后早生快发。起垄高度除改变土壤温度外, 对土壤湿度也会产生影响。垄体增高, 一方面土壤温度上升, 另一方面整个垄体的水势差异变大, 不利于保持上层土壤水分含量, 导致土壤的理化性状恶化<sup>[5]</sup>。由此可见, 起垄一方面可以提高土壤温度, 但也会一定程度上降低土壤含水率, 土壤温湿度无法平衡。有机肥以动植物残体、生物排泄物等为主要材料制成, 含有大量含碳氮化合物, 且具有富含微孔和比表面积大的特性, 施入土壤后能够通过吸附微小土壤团聚体颗粒达到持续改善土壤孔隙度、提高土壤持水率的效果, 此外有机肥颜色深, 吸热性能和保水保温性能好, 其肥效持久, 可在后期为烟株生长持续供给养分, 使烟株保持较为持久的生长活力<sup>[6-7]</sup>。普洱是我国优质山地烟产区之一, 因地

处云贵高原, 山高谷深, 植烟土层较薄, 烤烟移栽时节低温少雨, 不利于烟株前期的生长发育, 而后期降雨集中, 水肥易流失, 导致烤烟生长后期养分供应不足, 上部叶无法充分发育与成熟, 造成上部叶开片差、成熟度不够、身份偏厚、结构紧密、内在化学成分不够协调等问题。针对上述问题, 本研究利用起垄增温、有机肥保湿且肥效缓的特性, 探讨起垄高度与有机肥比例对普洱产区植烟土壤温湿度、烟株根系以及上部烟叶质量的影响, 为普洱产区克服烤烟前期生长发育慢、后期衰老快、上部叶成熟度不够而造成上部叶质量不佳的问题提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况及供试材料

试验于 2021 年在云南省普洱市景东彝族自治县安定镇沙拉村 (100°71'E, 24°70'N) 进行, 试验所在地海拔 1619 m, 山地阳坡。土壤为黄棕壤, pH 5.68, 有机质 2.83%、碱解氮 86.56 mg/kg、速效磷 17.28 mg/kg、速效钾 115.34 mg/kg。供试烤烟品种为当地的主栽品种云烟 87。有机肥为腐熟羊粪 (有机质 48.56%、氮 1.64%、磷 1.37%、钾 2.51%); 无机肥为烟草专用复合肥 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12:12:

作者简介: 谢晋, 主要从事烟叶调拨及烟叶原料评价研究, E-mail: 420863607@qq.com

王维为通信作者, 主要从事烟草栽培及生理、品质调控研究, E-mail: wangwei@scau.edu.cn

基金项目: 广东中烟工业有限责任公司科技项目 (2021440000340011)

收稿日期: 2023-02-13; 修回日期: 2023-09-07; 网络出版日期: 2023-09-22

24), 过磷酸钙和硫酸钾用于平衡试验处理中的磷、钾养分, 其  $P_2O_5$  和  $K_2O$  含量分别为 18% 和 50%。

## 1.2 试验设计

试验采用双因素随机区组设计, 因素 1 为起垄高度 (A), 包含 3 个水平: 起垄高度 20 (A1)、30 (A2) 和 40 cm (A3)。因素 2 为有机、无机肥施用比例 (B), 同样包含 3 个水平: 25% 有机肥+75% 无机肥 (B1), 50% 有机肥+50% 无机肥 (B2), 75% 有机肥+25% 无机肥 (B3)。有机、无机肥施用比例指总肥料中有机纯 N 和无机纯 N 占总纯 N 量的百分比, 各处理纯 N 施用量保持  $127.5 \text{ kg/hm}^2$  不变, 有机肥全部作底肥, 穴施, 40% 无机肥作底肥, 其余用作追肥。试验共 9 个处理, 每个处理重复 3 次, 共 27 个小区, 单个小区面积  $60.0 \text{ m}^2$ , 行株距为  $1.2 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 。除垄高与肥料因素外, 其余均按试验地所在产区优质烟叶生产技术措施进行管理。

## 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 土壤温度和相对含水率** 于团棵期 (移栽后 30 d) 和旺长期 (移栽后 60 d), 在晴朗的上午 10:00–12:00 采用土壤环境监测仪 (浙江托普云农科技股份有限公司, 产品型号: BNL-GPRS-9G) 的温湿度感应探头精确定位土层深度 (10 和 20 cm), 分土层、多点位记录土壤温度、相对湿度, 检测方式

为每 10 min 记录 1 次, 最终数据以平均值计算。

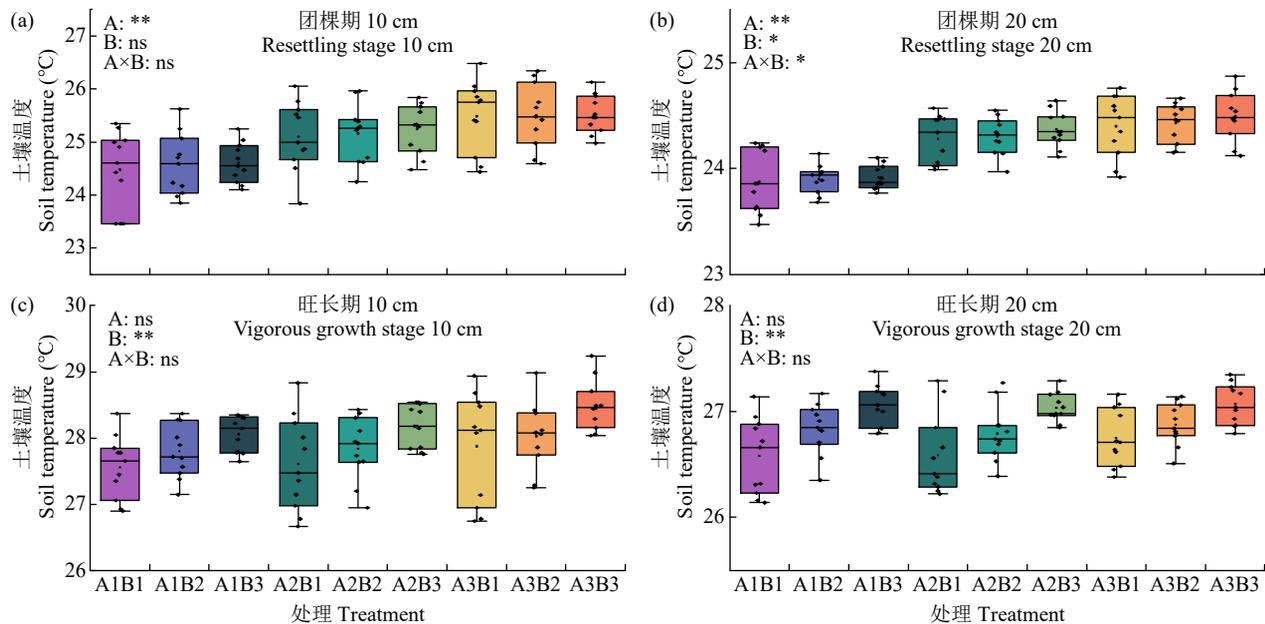
**1.3.2 根系活力及干重** 于团棵期从各小区选择长势均匀、有代表性烟株 3 株, 将其根系完整挖出, 放入纱网袋内, 用水缓慢冲洗干净, 阴干根系表面水分, 置于烘箱内  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  杀青 0.5 h,  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  下烘干至恒重, 采用称重法测定不同处理根系干物质积累量。相同取根方式获取冲洗干净的根系, 采用 TTC 法<sup>[8]</sup>测定不同处理根系活力。

**1.3.3 烤后烟叶化学成分及石油醚提取物的含量** 取烤后上桔二 (B2F) 等级烟叶, 除去叶脉, 置于烘箱中  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  烘干后粉碎, 过 60 目筛, 获得待测样品粉末。分别采用苯酚—硫酸法、3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法、凯氏定氮法、蒸馏—紫外分光光度法、碘显色法以及火焰分光光度法测定总糖、还原糖、总氮、烟碱、淀粉、钾离子常规化学成分含量, 以上方法参考韩富根<sup>[9]</sup>所著《烟草品质分析》。采用残余法<sup>[10]</sup>测定石油醚提取物含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对植烟土壤温度的影响

如图 1 所示, 团棵期垄体 10 cm 处, 起垄高度对土壤温度的影响达到极显著性差异水平, 有机肥比例不变时, 表现为起垄高度越高, 垄体土壤平均温度越高; 垄体 20 cm 处, 起垄高度对土壤温度的



“\*”表示在 0.05 水平上差异显著; “\*\*”表示在 0.01 水平上差异显著; “ns”表示无显著性差异。下同  
 “\*” shows significant difference at the 0.05 level; “\*\*” shows significant difference at the 0.01 level; “ns” shows no significant difference. The same below.

图 1 起垄高度与有机肥比例对植烟土壤温度的影响

Fig.1 Effects of ridging height and ratio of organic fertilizer on soil temperature of tobacco

影响达到极显著性差异水平，有机肥比例以及起垄高度和有机肥比例两者交互对土壤温度的影响存在显著性差异，不同处理间土壤温度变化趋势与垄体 10 cm 处一致。旺长期，垄体 10 与 20 cm 处有机肥比例对土壤温度的影响具有显著性差异，同一起垄高度下，有机肥比例越大，垄体土壤温度越高，同时箱体越扁平，数据点越集中，即土壤温度波动越小。以上说明烟株生育前期，土壤温度主要受起垄高度影响，而中期受有机肥比例的影响更明显，较高的有机肥比例能够稳定垄体温度。

### 2.2 不同处理对植烟土壤相对湿度的影响

如图 2 所示，团棵期垄体 10 cm 深度，起垄高度对土壤相对含水率存在极显著影响，起垄高度越

高，土壤相对含水率越低。垄体 20 cm 深度处，起垄高度对土壤相对含水率存在极显著影响，起垄高度越高，土壤相对含水率越低，有机肥比例对土壤相对含水率存在显著性影响，有机肥比例越高，土壤相对含水率越高，但二者间的交互效应并不显著。旺长期，垄体 10 和 20 cm 深度处，有机肥比例对土壤相对含水率的影响达到极显著性差异水平，有机肥比例越高，土壤相对含水率越高。此外，各个时期不同垄体深度的土壤相对含水率均表现出有机肥比例越高，垄体相对含水率波动越小，越稳定。由此可见，烟株生长前期，垄体土壤含水率主要受起垄高度影响，后期则以有机肥比例影响为主，且有机肥比例越高，相同深度的土壤含水率波

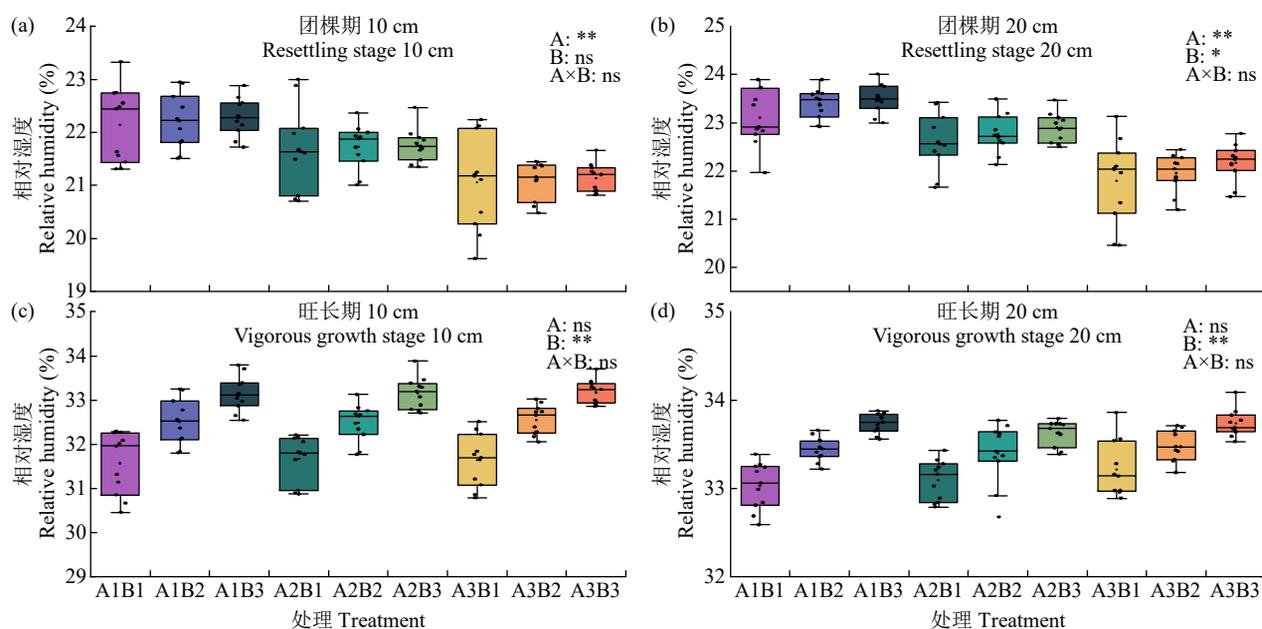


图 2 起垄高度与有机肥比例对植烟土壤相对湿度的影响

Fig.2 Effects of ridging height and ratio of organic fertilizer on relative humidity of tobacco planting soil

动越小，越稳定。

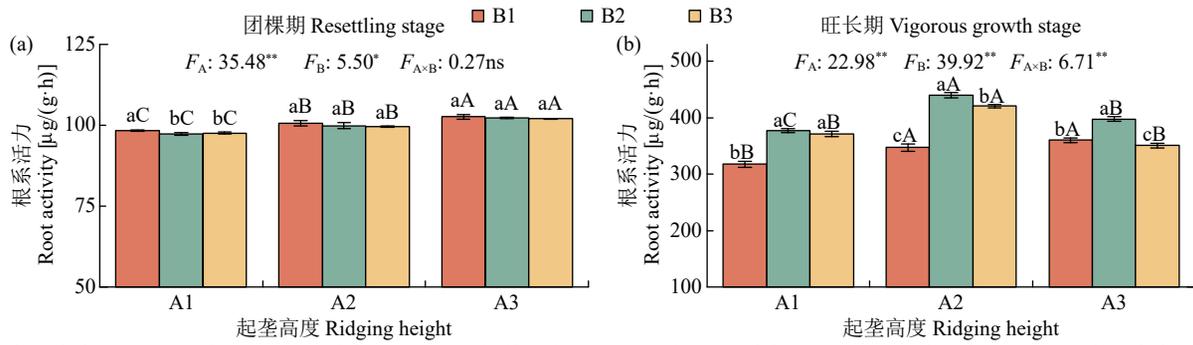
### 2.3 不同处理对烟株根系活力的影响

由图 3 可知，团棵期时，起垄高度对根系活力的影响达到极显著性差异水平， $F_A$  为 35.48，有机肥比例对根系活力的影响达到显著性差异水平， $F_B$  为 5.50，而起垄高度与有机、无机肥比例的交互效应不显著。在同一有机肥比例下，起垄高度越高，根系活力越强；在同一起垄高度下，有机肥比例越小则根系活力越强。根据  $F$  值大小进行判断，烟株团棵期根系活力主要受起垄高度的影响。旺长期，起垄高度与有机肥比例均对烟株根系活力产生极显著的影响，且二者间存在极显著的交互效应； $F_B$

大于  $F_A$ ，表明烟株在旺长期的根系活力受有机、无机肥施用比例的影响程度更大。整体根系活力最高的处理为 A2B2，即起垄高度 30 cm 且有机、无机肥比例均为 50% 时烟株根系活力最强，根系活力最低的处理为 A1B1，即当起垄高度为 20 cm、有机肥和无机肥施用比例分别为 25% 和 75% 时烟株根系活力最弱，而且前者较后者高出 38.64%。

### 2.4 不同处理对烟株根系干重的影响

如图 4 所示，团棵期，起垄高度的  $F$  值略高于有机和无机肥施用比例，2 种因素均对烟株根系干物质积累量有显著性影响，但二者间的交互效应并



同一起垄高度下不同小写字母表示不同有机肥比例处理间差异达 5% 水平显著；同一有机肥比例下不同大写字母表示不同起垄高度处理间差异达 5% 水平显著。下同。

The same ridge height, different lowercase letters indicate that there is a significant difference at the 5% level among treatments with different organic fertilizer ratios; Under the same proportion of organic fertilizer, the different capital letters indicate different ridging heights is significant difference at the 5% level. The same below.

图 3 起垄高度与有机肥比例对烟株根系活力的影响

Fig.3 Effects of ridging height and organic fertilizer ratio on root activity of tobacco plant

不显著；同一有机肥比例下，整体上起垄高度越高，根系干物质积累量越大，同一起垄高下，有机肥比例越低，根系干物质积累量越大。旺长期，起垄高度、有机肥比例对根系干重的影响分别达到显著和极显著差异水平，两者间的交互效应达显著差异水平，其中有机肥、无机肥比例的  $F_B$  为 13.69，高于

起垄高度和两者的交互效应，因而烟株在旺长期的根系干物质积累量受有机、无机肥施用比例的影响较大；同一起垄高度下，有机肥比例上升，烟株根系干重先增加后减少，同一有机肥比例下，起垄高度为 30 cm 时，根系干重数值最大。以上分析说明，烟株生育前期根系干物质积累量受起垄高度影响

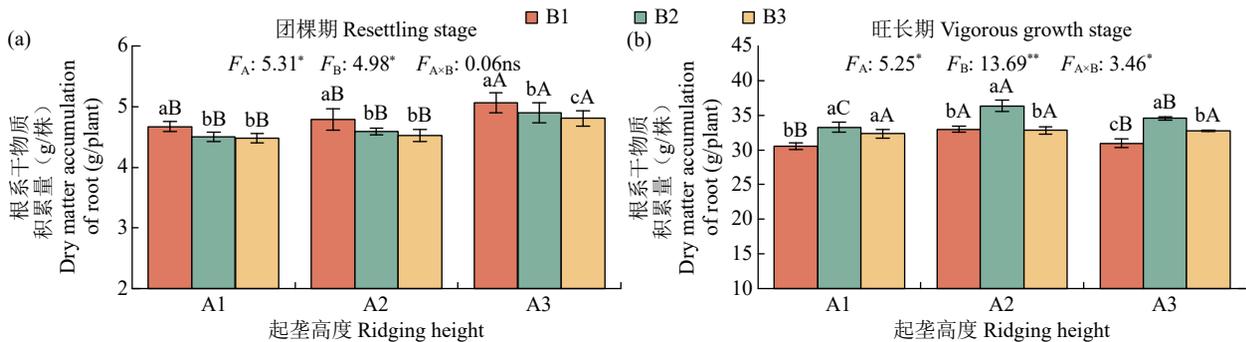


图 4 起垄高度与有机肥比例对不同时期烟株根系干物质积累量的影响

Fig.4 Effects of ridging height and organic fertilizer ratio on dry matter accumulation of tobacco roots

为主，有机肥比例为辅，后期则反之。

## 2.5 不同处理对烤后上部叶化学成分的影响

如表 1 所示，起垄高度对总糖、还原糖、烟碱、总氮、糖碱比以及氮碱比的影响差异极显著，对钾含量的影响差异显著，对淀粉含量的影响不显著；有机肥比例对总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾、糖碱比以及氮碱比影响差异极显著，对淀粉含量的影响差异显著；起垄高度与有机肥比例互作对还原糖、烟碱、总氮含量以及糖碱比、氮碱比存在极显著的交互作用，对总糖、钾含量存在显著性交互作用，而对淀粉含量则无交互作用。起垄高度增加，总糖、还原糖含量先升高后降低，在 30 cm 处有最大值，烟碱、总氮含量先下降再上升，在 30 cm 处

出现最小值，钾含量无明显变化规律；有机肥比例增加，总糖、还原糖、淀粉含量上升，烟碱和总氮含量下降，而钾含量则是先升高后降低；协调性方面，糖碱比、氮碱比分别以接近 10.00 和 0.90 为宜，从表 1 中可知，A2B2、A2B3 处理的糖碱比和氮碱比最接近优质烤烟的适宜值，故而当起垄高度为 30 cm，有机、无机肥比例均为 50% 以及有机肥、无机肥施用比例分别为 75% 和 25% 时，烤烟化学成分的整体协调性较好。

## 2.6 不同处理对烤后上部叶石油醚提取物含量的影响

双因素方差分析结果(图 5a)显示，起垄高度、有机肥比例以及两者间的交互均对烤后烟叶石油

表 1 起垄高度与有机-无机肥配施对上部叶烤后化学成分的影响  
Table 1 Effects of ridging height and combined application of organic and inorganic fertilizers on chemical composition of upper leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	总糖 Total sugar (%)	还原糖 Reducing sugar (%)	烟碱 Alkaloid (%)	总氮 Total nitroge (%)	淀粉 Starch (%)	钾 Potassium (%)	糖碱比 Sugar/nicotine	氮碱比 Nitrogen/nicotine
A1B1	24.07cC	19.64bB	3.38aB	3.40aA	2.93aA	2.75bA	7.12cB	1.01aA
A1B2	25.17bC	19.78bB	3.27bB	3.18bA	3.05aA	2.90aA	7.70bC	0.97aA
A1B3	26.76aC	21.16aB	3.13cB	3.07cA	3.22aA	2.53cA	8.55aB	0.98aA
A2B1	26.41cA	20.72bA	3.33aB	3.20aB	3.06bA	2.26bB	7.93cA	0.96aA
A2B2	28.14bA	22.86aA	3.09bC	2.89bB	3.15aA	2.95aA	9.11bA	0.94bB
A2B3	28.35aA	24.05aA	3.06cC	2.87bB	3.18aA	2.68abA	9.28aA	0.94bB
A3B1	25.14cB	19.90cB	3.81aA	3.41aA	2.91bA	2.00bB	6.61cC	0.95bB
A3B2	26.46bB	22.10bA	3.34bA	3.16bA	3.04aA	2.86aA	7.93bB	0.95aB
A3B3	27.28aB	23.11aA	3.21bA	3.06cA	3.07aA	2.46aA	8.50aB	0.95aB
A	**	**	**	**	ns	*	**	**
B	**	**	**	**	*	**	**	**
A×B	**	**	**	**	ns	*	**	**

同一起垄高度下不同小写字母表示不同有机肥比例处理间差异达 5% 显著水平；同一有机肥比例下不同大写字母表示不同起垄高度处理间差异达 5% 显著水平。“\*”表示差异显著达到 5% 水平，“\*\*”表示差异显著达到 1% 水平，“ns”表示无显著性差异。  
Different lowercase letters under the same ridge height indicate significant difference at the level of 5% among different treatments of organic fertilizer ratio, and different uppercase letters under the same proportion of organic fertilizer indicate significant difference at the level of 5% between different ridge height treatments. “\*” indicates significant difference at 5% level, “\*\*” indicates significant difference at 1% level, and “ns” indicates that there is no significant difference.

醚提取物含量具有极显著影响。起垄高度的  $F_A$  值为 33.66，高于有机肥和无机肥施用比例和两者的交互作用，说明烤烟的石油醚提取物含量主要受起垄高度的影响。起垄高度不变时，烤后烟叶石油醚提取物含量随有机肥比例增加先上升后下降，不同起垄高度下均表现为  $B2 > B3 > B1$ ；有机肥比例不变时，烤后烟叶石油醚提取物含量随起垄高度增加先上升后下降，不同有机肥比例下均表现为  $A2 > A3 > A1$ 。通过建立二元二次方程拟合得到起垄高度、有机肥比例与烤后烟叶石油醚提取物含量间的效应方程： $g = 0.39567x + 0.8838y + 0.00606x^2 + 0.00077y^2 + 0.00014xy + 1.29319$ ，式中， $g$  表示烤后烟叶石油醚提取物含量（%）， $x$  表示起垄高度（cm）， $y$  表示有机肥比例（%）。三维曲面图（图 5b）显示，该方程存在最大值，由二元二次函数极值计算公式<sup>[1]</sup>得出当起垄高度为 32.03 cm、有机肥比例为 54.81% 时，烤后烟叶石油醚提取物含量最高，为 10.05%。

### 3 讨论

起垄既可扩大植烟土壤受光面积，提高土壤温度，又能加厚根际活土层，有利于根系发育<sup>[12-13]</sup>；有机肥富含腐殖质，施入土壤可增加土壤养分，改善土壤结构，促进作物生长发育<sup>[14]</sup>。起垄高度与有机肥互作对烟株根系活力和根系干物质积累量的

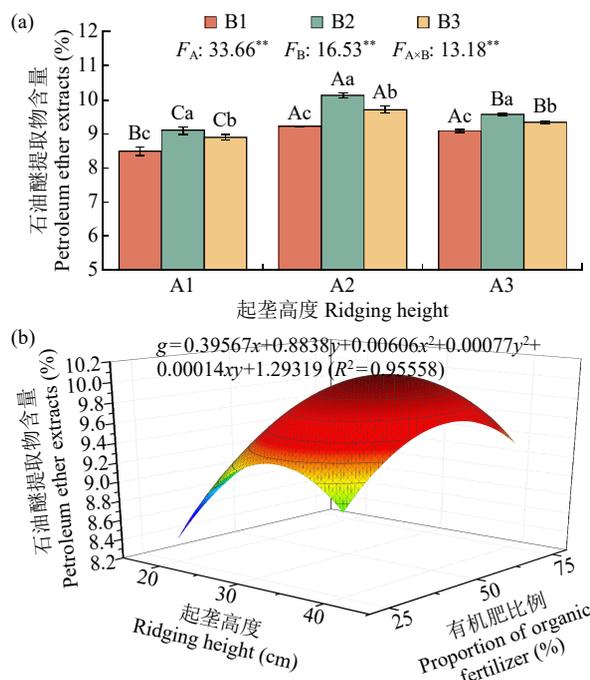


图 5 起垄高度与有机肥比例互作对烤后烟叶石油醚提取物含量的影响  
Fig.5 Effects of ridging height and organic fertilizer ratio on the content of petroleum ether extract in flue-cured tobacco leaves

影响相似，团棵期以起垄高度影响为主，有机肥比例影响为辅，起垄高度越高，有机肥比例越小，根系活力越强，根系干物质积累量越多；旺长期则以有机肥比例影响为主，起垄高度影响为辅，30 cm

的起垄高度和50%的有机肥比例有利于增强根系活力和增加根系干物质积累量。普洱产区烤烟的移栽期一般为4月下旬至5月上旬,此时气温仍较低,而增加起垄高度增大了土壤接纳的太阳辐射量,有利于提高地温,从而促进烤烟早生快发,烟株进入旺长期后,烟株增高,叶片增大,阳光受到遮挡,垄体接收的光热差异不大,因而起垄高度对此阶段烟株的影响变小。由于有机肥肥效缓,在烟株大田生育前期,施用有机肥对烟株根系活力和干物质积累量的促进作用弱于起垄高度,甚至其长势会弱于施用无机肥比例高的烟株,但是进入生育中后期,有机肥中的有机质缓慢释放养分,为烟株中后期的生长持续提供养分,烟株根系进一步积累干物质,同时保持较强的根系活力。

垄体温湿度对烤烟根系的生长发育影响较大,适宜且稳定的温湿度可以为烤烟根系创造良好的生长环境,促进烟株发育<sup>[15-16]</sup>。本文通过分析起垄高度与有机肥施用比例对垄体不同深度、不同点位温湿度的影响发现,烟株生长发育前期垄体温湿度主要受起垄高度影响,起垄高度越高温度越高,相对含水率则越低;后期则是有机肥比例影响为主,有机肥比例越高温湿度也越高,且变化幅度越小。王立革等<sup>[3]</sup>、陈长坤<sup>[17]</sup>在探讨起垄高度和有机肥对植烟土壤理化性状的影响研究中也有类似的结论。起垄高度增加,一方面垄体土壤受光总面积扩大,土壤接收的热量增加,温度相应提高;另一方面整个垄体的水势差异变大,水分下渗,土壤相对含水率下降。有机肥施入土壤,经过微生物的分解、缩合形成腐殖质。腐殖质对土壤的热状况有显著影响,腐殖质是一种暗褐色的物质,它的存在能够明显加深土壤颜色,进而提高土壤的吸热性,同时其热容量比空气和矿物质大,比水小,且导热性居中,因此在相同的日照条件下,腐殖质含量高的土壤土温相对较高,且变幅较小<sup>[18]</sup>。有机肥能够更新和增加土壤中有机质,有机质是一种疏松多孔的亲水胶体,能吸持大量水分,此外有机质分解形成的腐殖质改善了土壤的渗透性,减少土壤水分蒸发,因而能够提高土壤的保水能力<sup>[19-20]</sup>。

化学成分是烟叶质量优劣的内在物质基础<sup>[9]</sup>,烟叶石油醚提取物是以石油醚为溶剂,经萃取、烘干后得到的物质,其含量与烟叶的综合质量及香气量、香气质呈正相关<sup>[21-22]</sup>。本试验表明,除淀粉外,

起垄高度与有机肥施用比例互作对烤烟上部叶化学成分具有显著性影响。烤烟燃烧时,水溶性糖能与烟气中的碱性物质发生酸性反应,中和部分碱性,因而糖碱比能反映烟叶的酸碱平衡度,适当提高上部烟的糖碱比可起到醇和烟气、降低刺激性的作用。本研究中烤烟的糖碱比随有机肥施用比例的增加而升高,随起垄高度的增加表现出先上升后下降的变化规律。因此,适宜的起垄高度和有机肥比例有助于改善烤后上部叶化学成分的协调性,提高烟叶品质。究其原因,适宜的起垄高度与有机肥比例,尤其是适宜的有机肥比例能够维持烟株生长后期的根系活力,延缓其衰老速度,为上部叶充分成熟提供物质基础。

#### 4 结论

综合分析认为,30 cm 垄高配合50%有机肥+50%无机肥可改善植烟土壤的温度与湿度,促进烟株根系生长发育并维持其活力,进而延缓烟株衰老以提高上部叶的田间成熟度,其烤后烟叶的协调性较好,综合品质得到提升。

#### 参考文献

- [1] 刘国顺. 烟草栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [2] 李宝石, 刘文科, 李宗耕, 等. 起垄高度对日光温室土垄内嵌式基质栽培甜椒根区温湿及产量的影响. 中国农业气象, 2020, 41(1): 16-23.
- [3] 王立革, 焦晓燕, 韩雄, 等. 起垄高度对设施土壤温度、黄瓜根系生长及产量的影响. 山西农业科学, 2015, 43(11): 1450-1453.
- [4] 邱尧, 周冀衡, 黄劲理, 等. 根部温度和氮素形态互作对烤烟生长和钾素积累的影响. 中国烟草学报, 2015, 21(3): 88-92.
- [5] 袁家富, 毕庆文, 彭成林, 等. 黔北旱地烤烟适宜起垄高度研究. 湖北农业科学, 2008, 47(10): 1179-1182.
- [6] 张璐, 任天宝, 阎海涛, 等. 不同有机物料对烤烟根际土壤碳库、酶活性及根系活力的影响. 中国烟草科学, 2018, 39(2): 39-45.
- [7] 刘英, 刘强, 刘建丰. 不同外源有机物料组合对植烟土壤理化性状和酶活性的影响. 天津农业科学, 2017, 23(10): 89-93.
- [8] 符云鹏. 烟草栽培学实验指导. 郑州: 黄河水利出版社, 2019.
- [9] 韩富根. 烟草品质分析. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [10] 陶文生, 朱宇, 王建林. 西南烟区烤烟石油醚提取物含量的比较分析. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1537-1539.
- [11] 饶克勇. 二元二次函数的极值公式. 昭通师范高等专科学校学报, 1999(2): 19-21.
- [12] 张震, 杨艳东, 张黎明, 等. 起垄高度对湘西山地烤烟生长发育和产质量的影响. 安徽农业科学, 2019, 47(22): 15-17.
- [13] 张敏. 起垄高度与施肥方式对植烟土壤及烤烟产质量的影响. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [14] 聂庆凯, 王静, 孙兴广, 等. 有机肥部分替代化肥对植烟土壤生化特性和烤烟品质的影响. 中国烟草科学, 2020, 41(4): 26-32.
- [15] 陈绮翎, 黄璇, 周越, 等. 温度胁迫对不同烤烟品种幼苗生长

- 及生理指标的影响. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(3): 462-468.
- [16] 刘智炫, 周清明, 穰中文, 等. 深耕对植烟土壤温湿度及烤烟根系发育和经济性状的影响. 烟草科技, 2019, 52(12): 23-30.
- [17] 陈长坤. 生物有机肥的施用对植烟土壤及烤烟生长发育的影响. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [18] 宋鸽, Ivanovich P A, 石峰. 腐殖质生理活性及其与化学组成关系的研究进展. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 598-610.
- [19] 王源, 朱毓蓉, 欧阳铨人, 等. 有机肥施用对植烟农田土壤肥力及烟叶质量的影响研究进展. 土壤通报, 2020, 51(4): 1003-1009.
- [20] 潘晓健. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展. 农业开发与装备, 2019(8): 29.
- [21] 刘典三, 刘国顺, 杨永峰, 等. 不同类型有机肥对烤烟石油醚提取物及香气物质含量的影响. 中国土壤与肥料, 2013(1): 74-79.
- [22] 肖艳霞, 朱金峰, 许自成, 等. 烤烟石油醚提取物含量影响因素的研究概况. 江西农业学报, 2011, 23(11): 85-88.

## Effects of Ridging Height and Ratio of Organic Fertilizer on Root Growth and Quality of Upper Tobacco Leaves

Xie Jin<sup>1</sup>, Li Jincheng<sup>1</sup>, Liang Zengfa<sup>1</sup>, Huang Hao<sup>1</sup>, Zhang Xi<sup>1</sup>, Gao Renji<sup>1</sup>, Jin Baofeng<sup>1</sup>, Zeng Fandong<sup>1</sup>, Lu Zhiwei<sup>2</sup>, Cai Yixia<sup>3</sup>, Wang Wei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510610, Guangdong, China;

<sup>2</sup>China Tobacco Guizhou Industrial Co., Ltd., Guiyang 550000, Guizhou, China;

<sup>3</sup>South China Agricultural University, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

**Abstract** To investigate the optimal ridging height and organic fertilizer application ratio in the Pu'er tobacco area, a field experiment was conducted to examine effects of different ridging heights and organic fertilizer application ratios on soil temperature and humidity, the tobacco root system, and the quality of upper tobacco post-flue-curing. The results showed that, the temperature and humidity of the ridge in the early stage of tobacco growth was mainly affected by the ridge height, with the higher the ridge height, the soil temperature shown rise, the relative water content shown downward trend, and in the later stage of growth, it was mainly affected by the proportion of organic fertilizer, which was positively correlated with soil temperature and humidity. In the resettling stage, with the higher of the ridge height, the little proportion of organic fertilizer, the root activity shown stronger, and the dry matter accumulation of root was increased. 30 cm ridging height and 50% organic fertilizer ratio treatment in boom period were good to enhance root activity and increase dry matter accumulation of root. The level of sugar-alkali ratio and nitrogen-alkali ratio of flue-cured tobacco leaves treated with 30 cm ridging height and 50% organic fertilizer ratio were closer to the required ratio of high-quality tobacco leaves. Comprehensive analysis showed that 30 cm ridge height combined with 50% organic fertilizer + 50% inorganic fertilizer can improve the temperature and humidity of tobacco soil, promote the growth and development of roots and maintain its vitality, and improve the chemical composition coordination and comprehensive quality of flue-cured upper tobacco leaves.

**Key words** Ridge height; Organic fertilizer ratio; Soil temperature and humidity; Root system of tobacco; Leaf quality of tobacco