

# 凹形双垄侧覆膜对耕层水热环境和上部烟叶生长及质量的影响<sup>①</sup>

罗井清<sup>1,2</sup>, 邓小华<sup>1\*</sup>, 陈金<sup>1,3</sup>, 裴晓东<sup>3</sup>, 刘勇军<sup>4</sup>, 何命军<sup>3</sup>, 李帆<sup>3</sup>

(1 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2 中国烟叶公司, 北京 100055; 3 湖南省烟草公司长沙市公司, 长沙 410011;

4 湖南省烟草科学研究所, 长沙 410004)

**摘要:**为防止烤烟大田后期早衰和提高上部烟叶质量,在湖南省浏阳市研究了单垄不覆膜、凹形双垄不覆膜、凹形双垄侧覆膜对烤烟大田后期耕层水热环境、烤烟根系、上部烟叶生长发育、烟叶经济性状和质量的影响。结果表明:在烤烟大田后期,凹形双垄侧覆膜较单垄栽培的土壤水分高 1.31%~6.38%,温度低 3.30~4.94 °C;根的总长度、平均直径、根总体积、根系活力分别提高 37.62%、34.92%、69.18%、10.85%;上部烟叶面积、SPAD 值、上等烟比例、产值、物理特性指数和化学成分可用性指数分别提高 20.61%、10.04%、8.07%、7.20%、5.90% 和 25.39%。凹形双垄侧覆膜较不覆膜栽培的土壤水分高 1.95%~2.65%,温度低 1.41~3.25 °C;根的总长度、平均直径、根总体积、根系活力分别提高 23.24%、16.44%、28.62%、3.28%;上部烟叶的面积和 SPAD 值分别提高 9.72%、3.21%。因此,凹形双垄侧覆膜栽培具有减少土壤水分蒸发、减缓土温变化和高温危害、促进烤烟后期根系生长、提高烟叶光合能力、提高上部烟叶质量的作用。

**关键词:**凹形双垄侧覆膜栽培;水热环境;耕层土壤;烤烟生长;上部烟叶质量

中图分类号:S572;S314 文献标识码:A

上部烟叶对烤烟产量和质量有着重大贡献<sup>[1]</sup>,在低焦油卷烟叶组配中能发挥重要作用<sup>[2]</sup>。南方烟区烤烟大田后期常遇高温干旱,致使根系早衰和烟叶假熟,严重影响上部烟叶质量。烟垄是烤烟生长发育的基础,不同垄作和覆盖方式影响耕层土壤水分<sup>[3-5]</sup>、温度等环境条件<sup>[5-6]</sup>,直接影响烤烟根系形成<sup>[3]</sup>,进而影响烤烟发育和烟叶产量、质量<sup>[7-8]</sup>。目前烤烟以单行垄栽为主,这种垄在烤烟后期的高温干旱季节保水能力差,导致单位土地面积的经济效益不高及烟叶质量不稳定等<sup>[9-10]</sup>。传统的垄体全覆膜栽培,在南方烟区的推广受到冲击,面积在逐渐减少,存在以下问题:如果不揭膜雨水不易下渗而易流失,在烤烟后期会加剧干旱和高温胁迫<sup>[11-12]</sup>;如果揭膜,不仅存在揭膜费工问题,而且由于根系集中分布层较浅致烤烟后期易早衰<sup>[11-12]</sup>。如何针对南方烟区烤烟生长后期高温干旱天气,探寻一种减缓烤烟早衰和高温逼熟的种植方式就显得极为重要。许卫猛等<sup>[7]</sup>、王树林等<sup>[8]</sup>研究了双行凹形垄栽培对烤烟生长及产质量的影响;李永

涛等<sup>[11]</sup>、徐国伟等<sup>[12]</sup>研究了地膜覆盖、秸秆覆盖对耕层土壤和烤烟生长及产量的影响;周忠文等<sup>[13]</sup>研究了烤烟垄间膜侧抗旱栽培效应;管赛赛等<sup>[4]</sup>研究了不同起垄及地膜覆盖方式保水效果及对烤烟经济性状的影响;上述对起垄、覆盖方式在烤烟生产上的应用开展研究,虽取得稳产和增质效果,但较少涉及南方烟区烤烟大田后期耕层水热环境和烤烟根系生长及上部烟叶质量等方面的研究,其技术在南方烟区的应用存在一定局限性。为解决南方烟区烤烟大田后期早衰和高温逼熟问题,本研究将双行凹形垄与垄间侧膜覆盖<sup>[13]</sup>(地膜半覆盖)栽培技术结合成新种植方式,研究其对烤烟大田后期耕层土壤水热状况和烤烟生长发育以及上部烟叶经济性状、烟叶质量的影响,为提高南方烟区上部烟叶在工业上的可用性提供科技支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与材料

试验于 2016 年在浏阳市醇口镇烟草科技园进行。

基金项目:湖南省烟草公司长沙市公司科技项目(CYKJ2015-03)资助。

\* 通讯作者(yzdxh@163.com)

作者简介:罗井清(1978—),男,硕士,农艺师,主要从事烟叶生产技术与管理研究。E-mail: 524545917@qq.com

土壤 pH 5.1, 有机质 25.2 g/kg, 碱解氮 127.4 mg/kg, 有效磷 27.4 mg/kg, 速效钾 100.8 mg/kg。种植烤烟品种为‘云烟 87’。烤烟打顶后留叶数 18~19 片。中部烟叶采收完毕后, 留 6 片上部烟叶。

### 1.2 试验设计

试验设 3 个处理: T1, 凹形双垄不覆膜(凹垄槽的深度为 8~12 cm); T2, 凹形双垄侧覆膜(在凹槽全生育期盖膜, 膜宽 100 cm, 并在凹槽谷底的地膜上纵向每隔 50~60 cm 开设直径为 1 cm 的透水孔); CK, 单垄种植不覆膜。每处理 3 次重复, 随机区组设计, 小区面积 120 m<sup>2</sup>。3 月 25 日移栽烤烟, 密度为 120 cm × 55 cm; 施氮量控制在 142.5 kg/hm<sup>2</sup>, N:P:K=1:1:2.8。6 月 5 日烤烟打顶。其他烤烟栽培技术按照《长沙市优质烤烟生产技术规范》进行<sup>[14]</sup>。

### 1.3 主要测定指标及方法

1) 耕层土壤水热环境测定: 每个小区选取 3 个监测点, 用便携式土壤水分温度仪(TZS-II 型速测仪)测定垄脊中间土层 10、20、30 cm 深度的土壤含水率和温度。为比较不同起垄和覆膜方式的水热效应, 分别选择下雨后连续天晴 2 d(D1, 6 月 26 日)、下雨后连续天晴 12 d(D2, 7 月 8 日)的上午 12 时测定, 并以变化率(变化率 = (D1-D2)/D1×100)的大小来比较不同处理的水热效应。

2) 烤烟根系测定: 于 7 月 8 日, 采用根钻法挖掘取样<sup>[15-16]</sup>。每个处理选择长势一致烟株 5 棵, 分别沿同一方向的垄脊、垄侧面(凹形双垄分外侧面、内侧面), 用直径 5 cm 螺旋取土钻在离烟株主茎 10 cm 处钻取 20 cm 的土层, 用水冲洗, 收集根系备用。采用 LA-90 多参数根系分析系统(加拿大 Legentsys-Sintek), 分析根长、平均直径、根体积等形态学参数<sup>[17-18]</sup>。采用 TTC 法测定烟草根系活力<sup>[19]</sup>。

3) 叶片面积和 SPAD 值测定: 于 7 月 8 日, 每个小区选择 10 株烤烟, 测定从上至下第 1~6 片烟叶的叶长与宽, 计算叶面积 = 叶长×叶宽×0.634 5。与此同时, 用 SPAD-502 便携式叶绿素仪测量叶片的相对叶绿素含量。每片烟叶在主脉两侧对称选择 6 个点测量, 以 SPAD 的平均值表示。

4) 光合特性指标测定: 于 7 月 8 日, 每个小区选择 5 株烤烟, 采用 LI-6400 便携式光合作用测定系统, 测量从上至下第 5 片烟叶的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )。在晴天的 9:00—11:00 进行测定, LED 红/蓝光光源(6400-02B)。

5) 烟叶经济性状考查: 上部第 1~6 片烟叶一次性采收后单独烘烤, 分级后考查上等烟比例、均价、

产量、产值等经济性状<sup>[20]</sup>。

6) 烟叶物理特性评价: 按照《烤烟》(GB 2635—1992)标准选取上部烟叶具有代表性的 B2F 等级, 主要测定开片度、含梗率、叶片厚度、单叶重、平衡含水率、叶质重等 6 个物理特性指标<sup>[20]</sup>。参照相关研究<sup>[21-22]</sup>, 采用烟叶物理特性指数(physical properties index, PPI)对整个烟叶物理性状进行综合量化评价, 其值越大, 物理性状越好。物理特性指数

计算公式为:  $PPI = \sum_{j=1}^6 Q_{ij} \times W_{ij}$  (式中:  $Q_{ij}$  和  $W_{ij}$  表示

第  $i$  个样本、第  $j$  个指标的标准化值和权重)。 $Q_{ij}$  计算采用效果测度模型<sup>[22]</sup>;  $W_{ij}$  采用主成分分析方法确定<sup>[22]</sup>, 开片度、含梗率、叶片厚度、单叶重、平衡含水率、叶质重等物理特性评价指标的权重分别为: 16.42%、21.80%、19.06%、10.55%、12.84%、19.33%。

7) 烟叶化学成分评价: 采用荷兰 SKALAR San++ 间隔流动分析仪测定 B2F 等级烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯含量, 火焰光度法测定烟叶钾含量。参照相关研究<sup>[23-25]</sup>, 采用化学成分可用性指数(chemical components usability index, CCUI), 对整个烟叶化学成分综合量化评价, 其值越大, 化学成分综合表现越好。化学成分可用性指数计算公式为:

$CCUI = \sum_{j=1}^6 N_{ij} \times W_{ij}$  (式中:  $N_{ij}$  和  $W_{ij}$  分别表示第  $i$  个样

本、第  $j$  个指标的标准化值和权重)。 $N_{ij}$  计算采用隶属函数进行转换<sup>[23]</sup>;  $W_{ij}$  采用主成分分析方法确定<sup>[24]</sup>, 总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾、氯的权重分别为: 14.44%、15.87%、27.76%、24.55%、10.45%、6.93%。

### 1.4 统计分析方法

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据处理和统计分析。表内数据为平均值 ± 标准差。采用 Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 烤烟大田后期耕层土壤水分变化

由表 1 可知, 连续晴 2 d, 凹形双垄不覆膜(T1)、凹形双垄侧覆膜(T2)的土壤水分较单垄不覆膜(CK)分别高 0.57%~2.22%、1.31%~2.68%; 其中, 在 10、20 cm 土层的 T1、T2 土壤水分显著高于 CK, 在 30 cm 土层的 T1、T2、CK 之间的土壤水分差异不显著。连续晴 12 d 后, T1、T2 土壤水分显著高于 CK, 分别高 2.22%~4.22%、4.87%~6.28%; T2 土壤水分显著高于 T1 (1.95%~2.65%); 这种差异随土层加深而减小。连续晴 2 d 与连续晴 12 d 相比, T1、T2、CK

的土壤含水量分别下降了 9.13% ~ 14.55%、3.64% ~ 8.83%、14.03% ~ 30.34%。可见，凹形双垄栽培具有

减少土壤水分蒸发的作用，特别是在连续干旱状态下凹形双垄侧覆膜栽培保水效果最好。

表 1 不同垄作覆膜方式对耕层土壤含水率的影响  
Table 1 Moistures of plough soils under different ridging and mulching patterns

土层深度(cm)	处理	连续天晴 2 d		连续天晴 12 d		变化率 (%)
		土壤含水率 (%)	T-CK (%)	土壤含水率 (%)	T-CK (%)	
10	T1	28.51 ± 0.24 a	+2.21	24.36 ± 0.31 b	+4.22	-14.55
	T2	28.98 ± 0.35 a	+2.68	26.42 ± 0.87 a	+6.28	-8.83
	CK	26.30 ± 0.26 b		20.14 ± 0.70 c		-30.34
20	T1	32.94 ± 0.17 a	+2.22	28.91 ± 0.85 b	+3.87	-12.23
	T2	33.18 ± 0.45 a	+2.46	30.86 ± 1.02 a	+5.82	-6.99
	CK	30.72 ± 0.32 b		25.04 ± 0.93 c		-18.49
30	T1	35.28 ± 0.22 a	+0.57	32.06 ± 0.85 b	+2.22	-9.13
	T2	36.02 ± 0.32 a	+1.31	34.71 ± 1.02 a	+4.87	-3.64
	CK	34.71 ± 0.42 a		29.84 ± 0.93 c		-14.03

注：表中同列数据小写字母不同表示同一土层深度不同处理间差异达  $P < 0.05$  显著水平，下表同。

## 2.2 烤烟大田后期耕层土壤温度变化

由表 2 可知，连续晴 2 d，T1、T2、CK 的土壤温度差异不显著。连续晴 12 d 后，T1、T2 土壤温度较 CK 分别低 1.19 ~ 2.20 °C、3.30 ~ 4.94 °C；但只有 T2 与 CK 之间的土壤温度差异显著；T2 土壤温度较 T1 低 1.41 ~ 3.25 °C。连续晴 2 d 与连续晴 12 d 的相

比，T1、CK 的土壤温度分别升高了 1.94% ~ 4.64%、9.29% ~ 16.78%，但 T2 的土壤温度下降了 3.86% ~ 5.80%。可见，凹形双垄栽培的垄体温度较单垄栽培变化小，具有减缓土壤温度变化的作用；特别是凹形双垄侧覆膜栽培具有降低土壤温度、减少高温危害的作用。

表 2 不同垄作覆膜方式对耕层土壤温度的影响  
Table 2 Temperatures of plough soils under different ridging and mulching patterns

土层深度(cm)	处理	连续天晴 2 d		连续天晴 12d		变化率 (%)
		土壤温度(°C)	T-CK(°C)	土壤温度(°C)	T-CK(°C)	
10	T1	26.71 ± 0.78 a	+1.33	27.95 ± 0.62 ab	-1.69	+4.64
	T2	26.22 ± 0.81 a	+0.84	24.70 ± 0.86 b	-4.94	-5.80
	CK	25.38 ± 0.43 a		29.64 ± 0.52 a		+16.78
20	T1	25.74 ± 0.76 a	+1.34	26.33 ± 0.52 ab	-1.19	+2.29
	T2	25.21 ± 0.62 a	+0.81	24.22 ± 0.73 b	-3.30	-3.93
	CK	24.40 ± 0.51 a		27.52 ± 0.68 a		+12.79
30	T1	23.11 ± 0.21 a	-0.46	23.56 ± 0.62 b	-2.20	+1.94
	T2	23.04 ± 0.45 a	-0.53	22.15 ± 0.86 c	-3.61	-3.86
	CK	23.57 ± 0.57 a		25.76 ± 0.52 a		+9.29

## 2.3 烤烟大田后期根系形态和活力差异

由表 3 可知，从垄脊根系看，T2 的根总长度、根平均直径、根总体积显著高于 T1、CK，而 T1、CK 差异不显著。从垄外侧根系看，T1、T2、CK 的根总长度差异不显著；T1 和 T2 的根平均直径显著高于 CK；T2 的根总体积显著高于 T1 和 CK。从凹形双垄内侧根系看，T1 和 T2 的根总长度、根平均直径、根总体积差异不显著，但远大于 CK 外侧根系形态指标。从 3 个不同取样位置的合计根系数值看，T1 的根总长度、根平均直径、根总体积显著高于 CK，分别高 11.67%、15.87%、31.53%；T2 的根总长度、根平均直径、根总体积显著高于 CK，分别高 37.62%、

34.92%、69.18%；T2 的根总长度、根平均直径、根总体积显著高于 T1，分别高 23.24%、16.44%、28.62%。可见，凹形双垄栽培可促进烤烟根系生长，以凹形双垄侧覆膜栽培促进根系生长效果最好。

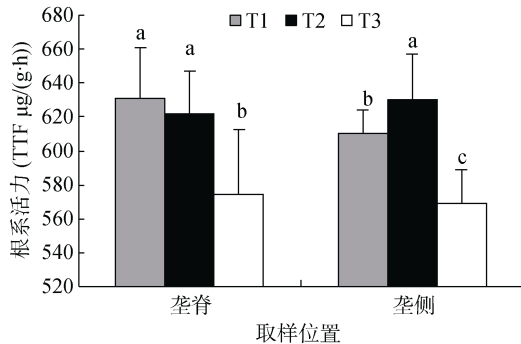
由图 1 可知，从垄脊根系活力看，T1、T2 的根系活力显著高于 CK，但 T1、T2 的根系活力差异不显著；T1、T2 的根系活力较 CK 高 9.75%、8.26%。从垄侧根系活力看，3 个处理的根系活力差异显著；T1、T2 的根系活力较 CK 高 7.39%、10.85%，T2 的根系活力较 T1 高 3.28%。可见，凹形双垄栽培可提高烤烟根系活力，以凹形双垄侧覆膜栽培提高根系活力效果最好。

表 3 不同垄作覆膜方式对烤烟根系形态的影响

Table 3 Tobacco root morphologic characteristics under different ridging and mulching patterns

取样位置	处理	根总长 (cm)	根平均直径 (mm)	根总体积 (cm <sup>3</sup> )
垄脊	T1	445.17 ± 25.56 b	0.75 ± 0.08 b	1.97 ± 0.12 b
	T2	696.31 ± 32.45 a	1.05 ± 0.07 a	2.63 ± 0.15 a
	CK	421.52 ± 30.02 b	0.79 ± 0.04 b	1.91 ± 0.21 b
垄外侧面	T1	420.66 ± 28.71 a	0.65 ± 0.17 a	1.15 ± 0.10 b
	T2	477.62 ± 33.09 a	0.77 ± 0.13 a	2.34 ± 0.25 a
	CK	492.89 ± 21.34 a	0.55 ± 0.11 b	1.17 ± 0.13 b
垄内侧面	T1	705.67 ± 18.72 a	0.78 ± 0.09 a	2.47 ± 0.12 a
	T2	762.80 ± 31.46 a	0.73 ± 0.06 a	2.22 ± 0.21 a
	CK	492.89 ± 21.34 a	0.55 ± 0.11 b	1.17 ± 0.13 b
合计	T1	1 571.50 ± 42.32 b	0.73 ± 0.07 b	5.59 ± 0.26 b
	T2	1 936.73 ± 38.67 a	0.85 ± 0.04 a	7.19 ± 0.35 a
	CK	1 407.30 ± 35.45 c	0.63 ± 0.05 c	4.25 ± 0.32 c

注: T1 和 T2 的根总长、根总体积合计数值为 ++, 根平均直径为(++)/3; CK 的根总长、根总体积合计数值为 +2x, 根平均直径为(+2x)/3。



(图中小写字母不同表示同一取样位置不同处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平, 下同)

图 1 不同垄作覆膜方式对烤烟根系活力的影响

Fig. 1 Tobacco root activities under different ridging and mulching patterns

## 2.4 上部不同叶位的叶片面积差异

由图 2 可知, 上部 1~6 叶的面积都是  $T2 > T1 > CK$ ; 但从第 1 叶看, T2 的烟叶面积显著高于 T1、CK; 从第 2~6 叶看, T1、T2、CK 的烟叶面积差异显著。T1 和 T2 的叶面积较 CK 平均高出 9.99%、20.61%; T2 的叶面积较 T1 平均高出 9.72%。可见, 凹形双垄栽培可促进上部烟叶生长, 以凹形双垄侧覆膜栽培促进上部烟叶生长的效果最好。

## 2.5 上部不同叶位的烟叶 SPAD 值差异

烟叶的 SPAD 值反映了烟叶的叶绿素含量高低, 可作为评价烟叶耐熟性的指标。由图 3 可知, 上部 1~6 叶的 SPAD 值都是  $T2 > T1 > CK$ ; 但从第 1~5 叶看, T2、T1 的烟叶 SPAD 值显著高于 CK; 从第 6 叶看, T1、T2、CK 的烟叶 SPAD 值差异显著。T1 和 T2 的 SPAD 值较 CK 平均高出 6.62%、10.04%; T2 的 SPAD 值较 T1 平均高出 3.21%。可见, 凹形双

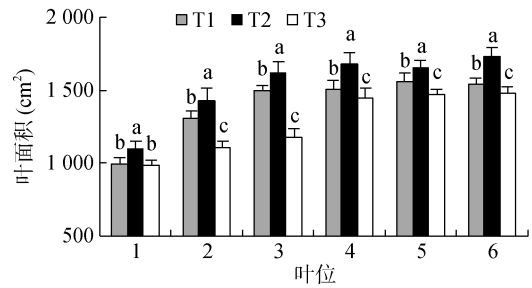


图 2 不同垄作覆膜方式对烤烟叶面积的影响

Fig. 2 Tobacco upper leaf areas under different ridging and mulching patterns

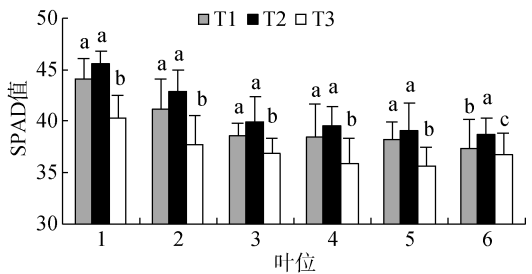


图 3 不同垄作覆膜方式对烟叶 SPAD 值的影响

Fig. 3 SPAD values of tobacco upper leaves under different ridging and mulching patterns

垄栽培的上部烟叶叶绿素下降较慢, 烟叶耐熟性好, 有利延长上部烟叶采收时间, 以凹形双垄侧覆膜栽培效果最好。

## 2.6 上部烟叶的叶片光合生理特性差异

由表 4 可知, 光合作用速率、胞间  $CO_2$  浓度均为  $T2 > T1 > CK$ , 且 T2 的烟叶光合作用速率、胞间  $CO_2$  浓度显著高于 T1、CK。气孔导度、蒸腾速率为  $T1 > CK > T2$ , 且 T1、CK 的烟叶气孔导度、蒸腾速率显著高于 T2。可见, 凹形双垄侧覆膜栽培的上部烟叶光合能力强, 抗旱性好, 为提高烟叶耐熟性打下了基础。

## 2.7 不同处理上部烟叶经济性状比较

由表 5 的上部烟叶经济性状可知, 上等烟比例、均价、产量、产值都是  $T2 > T1 > CK$ ; 但只有上等烟比例和产值 T1、T2 处理与 CK 间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。其中, T1、T2 上等烟比例较 CK 分别高 5.81%、8.07%, 产值较 CK 分别高 5.35%、7.20%。可见, 凹形双垄栽培可提高上部烟叶的上等烟比例和产值, 以凹形双垄侧覆膜栽培的效果最好。

## 2.8 不同处理上部烟叶物理性状比较

由表 6 的上部烟叶物理性状可知, 开片度是 T2 显著大于 T1、CK; 单叶重、叶片厚度是 T1 和 T2 显著大于 CK; 叶质重是 T1 和 T2 显著小于 CK; 含梗率和平衡含水率是 T1、T2 和 CK 之间差异不显著。

表 4 不同垄作覆膜方式对烟叶光合生理特性的影响  
Table 4 Photosynthetic characters of tobacco upper leaves under different ridging and mulching patterns

处理	$P_n$ ( $\text{CO}_2$ , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )	$G_s$ ( $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )	$C_i$ ( $\text{CO}_2$ , $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	$Tr$ ( $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )
T1	$2.97 \pm 0.12$ b	$0.52 \pm 0.08$ a	$266.36 \pm 10.87$ b	$2.20 \pm 0.11$ a
T2	$3.48 \pm 0.09$ a	$0.30 \pm 0.09$ b	$285.77 \pm 13.24$ a	$1.35 \pm 0.14$ b
CK	$2.89 \pm 0.16$ b	$0.47 \pm 0.04$ a	$265.01 \pm 9.46$ b	$2.10 \pm 0.13$ a

表 5 不同垄作覆膜方式对上部烟叶经济性状的影响  
Table 5 Economic characters of tobacco upper leaves under different ridging and mulching patterns

处理	上等烟比例(%)	均价(元/kg)	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	产值(元/ $\text{hm}^2$ )
T1	$59.78 \pm 3.65$ a	$24.67 \pm 2.46$ a	$799.50 \pm 50.36$ a	$19\ 722.79 \pm 832.02$ a
T2	$61.06 \pm 5.42$ a	$24.82 \pm 3.08$ a	$808.50 \pm 43.78$ a	$20\ 070.15 \pm 758.68$ a
CK	$56.50 \pm 4.31$ b	$23.85 \pm 2.17$ a	$784.88 \pm 38.08$ a	$18\ 721.80 \pm 642.14$ b

表 6 不同垄作覆膜方式对上部烟叶物理性状的影响  
Table 6 Physical characters of tobacco upper leaves under different ridging and mulching patterns

处理	开片度(%)	单叶重(g)	含梗率(%)	叶片厚度( $\mu\text{m}$ )	平衡含水率(%)	叶质重( $\text{g}/\text{m}^2$ )	物理特性指数
T1	$27.71 \pm 2.42$ b	$12.58 \pm 1.04$ a	$27.70 \pm 1.88$ a	$123.28 \pm 5.40$ a	$9.22 \pm 0.87$ a	$105.48 \pm 4.23$ b	$92.69 \pm 5.31$ a
T2	$31.85 \pm 2.06$ a	$12.26 \pm 1.41$ a	$28.64 \pm 2.04$ a	$122.07 \pm 6.91$ a	$9.70 \pm 0.64$ a	$101.27 \pm 5.68$ b	$93.62 \pm 4.26$ a
CK	$27.31 \pm 1.88$ b	$10.15 \pm 1.26$ b	$28.97 \pm 2.19$ a	$113.50 \pm 4.86$ b	$9.20 \pm 0.95$ a	$121.60 \pm 5.02$ a	$88.40 \pm 3.98$ b

从物理特性指数看,  $T_2 > T_1 > CK$ , 且  $T_1$  和  $T_2$  的物理特性指数显著大于  $CK$ , 分别高 4.85%、5.90%。可见, 凹形双垄栽培上部烟叶发育好, 有利于提高上部烟叶物理特性指数。

### 2.9 不同处理上部烟叶化学成分比较

依据烟叶化学成分总糖(20% ~ 25%)、还原糖(18% ~ 24%)、烟碱(1.5% ~ 3.0%)、总氮(1.5% ~ 2.5%)、氯(0.4% ~ 0.8%)、钾(> 2.0%)的适宜值指标<sup>[23]</sup>, 由表 7 可知, 3 个处理的上部烟叶的总糖、还原糖、总氮、

氯、钾均在适宜范围内;  $T_2$  的烟碱含量在适宜范围内,  $T_1$  和  $CK$  的烟碱含量略偏高。 $T_1$  和  $T_2$  的烟叶钾含量较  $CK$  分别高 13.63%、18.18%, 且差异达显著水平。从化学成分可用性指数看,  $T_2 > T_1 > CK$ , 且 3 个处理的化学成分可用性指数差异显著, 其中,  $T_1$ 、 $T_2$  化学成分可用性指数较  $CK$  分别高 10.77%、25.39%。可见, 凹形双垄栽培可提高烟叶钾含量和烟叶化学成分可用性指数, 以凹形双垄侧覆膜栽培效果最好。

表 7 不同垄作覆膜方式对上部烟叶化学成分的影响  
Table 7 Chemical component composition of tobacco upper leaves under different ridging and mulching patterns

处理	总糖(%)	还原糖(%)	烟碱(%)	总氮(%)	氯(%)	钾(%)	化学成分可用性指数
T1	$24.60 \pm 2.02$ a	$19.01 \pm 1.42$ a	$3.19 \pm 0.24$ a	$2.12 \pm 0.15$ a	$0.57 \pm 0.10$ a	$2.75 \pm 0.28$ a	$78.77 \pm 4.21$ a
T2	$26.00 \pm 1.86$ a	$20.16 \pm 1.87$ a	$2.99 \pm 0.15$ a	$2.01 \pm 0.42$ a	$0.62 \pm 0.09$ a	$2.86 \pm 0.17$ a	$85.27 \pm 3.95$ a
CK	$24.97 \pm 1.90$ a	$20.05 \pm 1.45$ a	$3.35 \pm 0.65$ a	$2.36 \pm 0.31$ a	$0.63 \pm 0.14$ a	$2.42 \pm 0.18$ b	$68.00 \pm 3.07$ b

## 3 讨论

凹形双垄侧覆膜栽培在烤烟大田后期具有保蓄垄体土壤水分、降低垄体土壤温度的作用。地膜覆盖栽培能保蓄土壤水分, 增加土壤温度, 促进烤烟早生快发<sup>[11-12]</sup>。但传统地膜覆盖栽培的揭膜农事操作较费工<sup>[13]</sup>, 如果采用全生育期覆膜栽培, 凹形双垄的覆膜面积较大, 在雨水多的大田前、中期影响土壤通气和蒸发, 易造成一定程度的土壤墒情偏大, 在雨水较少的大田后期会阻碍降雨进入垄体<sup>[13]</sup>, 造成根系容

易早衰。由于凹形双垄侧覆膜栽培在双垄中间的凹形处覆盖了地膜, 覆盖地膜的一半垄体保蓄了土壤水分, 而另一半没有覆盖地膜的垄体能有效地接纳雨水, 提高土壤水分, 这与周忠文等<sup>[13]</sup>研究结果是一致的。在南方烟区上部烟叶成熟期的 7 月份, 正是高温干旱季节, 地膜全覆盖增加土壤温度, 会加剧高温的危害; 不覆盖地膜, 会导致垄体水分含量低, 白天土壤升温快, 也会加剧高温干旱的危害。本研究采用凹形双垄侧覆膜栽培, 其对烤烟大田前期、中期的土壤水热状况影响与周忠文等<sup>[13]</sup>研究结果是一致的,

但在烤烟大田后期不仅能保蓄茎体水分,还由于茎体水分提高使土壤温度变化小,在连续干旱天气条件下降低土壤温度,可减缓高温干旱对烤烟危害,提高上部烟叶质量。

凹形双垄侧覆膜栽培可防止烤烟早衰,提高烟叶耐熟性。凹形双垄栽培对大田前期和中期烤烟生长发育的影响已有相关报道<sup>[7-8]</sup>。本研究聚焦在烤烟大田后期的成熟期,研究结果表明,凹形双垄侧覆膜栽培改善了烤烟大田后期的耕层水热环境,促进了烤烟后期根系生长,提高了烤烟后期根系活力,从而可提高烤烟的抗旱能力。良好的根系在上部烟叶成熟时能够吸收充足的养分和水分,减缓烟叶的叶绿素降解,提高了烟叶光合能力,有利于烤烟上部烟叶充分发育,从而提高了烟叶耐熟性,有利于上部烟叶充分养熟。

凹形双垄侧覆膜栽培可提高烟叶产值和烟叶质量。研究结果表明,单垄不覆膜栽培在大田后期易发生早衰,导致其上部烟叶发育差,不仅单叶重低,而且叶片假熟致使叶片身份薄。凹形双垄侧覆膜栽培的上部烟叶发育好,不仅提高了上部烟叶的上等烟比例、产量和产值,其烟叶结构疏松,化学成分协调,烟叶物理特性指数和化学成分可用性指数显著提高。特别是凹形双垄侧覆膜栽培的保水效果可促进根系吸收钾,上部烟叶的钾含量显著提高。

烟叶物理特性、化学成分属于多指标评价。从单指标看,并不是要求越大越好,也不是要求越小越好。传统研究方法较多地采用单个指标逐一对烟叶物理特性、化学成分进行分析评价<sup>[7, 9-11]</sup>,但不同评价指标的表现往往不一致,对不同栽培措施效果进行比较研究时,较难做出综合判断。本研究对烟叶物理特性指标采用效果测度模型,对烟叶化学成分采用隶属函数模型进行归一化处理,并采用加权指数和法计算烟叶物理特性指数、化学成分可用性指数,依据指数大小对不同栽培措施的效应进行判断,使复杂多指标问题简化,计算和判断较为方便、直观。其方法具有一定借鉴作用。

#### 4 结论

凹形双垄侧覆膜栽培具有减少土壤水分蒸发、减缓土壤温度变化的作用。凹形双垄栽培可促进烤烟后期根系生长,提高根系活力;凹形双垄侧覆膜栽培与单垄栽培相比,根总长度、根平均直径、根总体积可分别提高 37.62%、34.92%、69.18%,根系活力可提高 10.85%;与凹形双垄不覆膜栽培相比,根总长度、

根平均直径、根总体积可分别提高 23.24%、16.44%、28.62%,根系活力可提高 3.28%。凹形双垄侧覆膜栽培与凹形双垄不覆膜、单垄栽培相比,可分别增加上部烟叶面积 9.72%、20.61%,SPAD 值可分别提高 3.21%、10.04%,改善光合生理特性,从而提高烟叶光合能力、延迟上部烟叶衰老、提高上部烟叶耐熟性。凹形双垄侧覆膜栽培与单垄栽培相比,上等烟比例可提高 8.07%,产值可提高 7.20%。凹形双垄侧覆膜栽培可提高上部烟叶开片度,增加上部烟叶重量,提高上部烟叶疏松度,提高上部烟叶钾含量;与单垄栽培相比,物理特性指数可提高 5.90%,化学成分可用性指数可提高 25.39%。

#### 参考文献:

- [1] 朱尊权. 提高上部烟叶可用性是促“卷烟上水平”的重要措施[J]. 烟草科技, 2010, 43(6): 5-9, 31
- [2] 邓小华, 周冀衡, 周清明, 等. 不同焦油量烤烟化学成分差异[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(2): 1-7
- [3] 侯加民, 张忠锋, 任明波, 等. 烤烟根系发育与烟叶产量质量关系的研究[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(2): 16-18
- [4] 管赛赛, 于晓娜, 李志鹏, 等. 起垄方式和垄间覆盖物互作对坡地烟田土壤理化性状及烤烟经济性状的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(7): 1573-1579
- [5] 张源沛, 张益明, 周会成. 半干旱地区春小麦不同种植方式土壤水分变化规律研究初探[J]. 土壤, 2017, 35(2): 168-171
- [6] 陈远学, 邓容成, 方瑾, 等. 不同覆盖栽培方式下四川盆地西缘玉米地土壤水温效应研究[J]. 土壤, 2015, 47(3): 608-616
- [7] 许卫猛, 阳波, 张定志, 等. 双行凹型垄栽培对山地烤烟产量品质的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(2): 56-61
- [8] 王树林, 史万华, 刘好宝, 等. 烟草轻简高效栽培技术研究——M型宽垄双行种植模式对烟草生长及产量的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(5): 29-33
- [9] 王逸飞, 刘红杰, 刘朝科, 等. 宽窄行交替种植对烤烟产量和品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(4): 91-93
- [10] 赵会纳, 雷波, 蔡凯, 等. 起垄方式对有机栽培烤烟生长和产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 79-82
- [11] 李永涛, 刘仁祥, 邵忠顺, 等. 不同覆盖方式对土壤环境和烤烟生长及产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(11): 70-72
- [12] 徐国伟, 陈明灿, 王旭刚, 等. 覆盖方式对烟草光合速率及耕层环境的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(2): 64-68
- [13] 周忠文, 刘英, 张永霞. 烤烟垄间膜侧抗旱栽培试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 65-68
- [14] 蔡兴, 裴晓东, 邓小华, 等. 喷施微生物菌剂对烤烟生长发育和上部烟叶经济性状的影响[J]. 作物研究, 2017, 31(2): 166-169

- [15] Hamilton D, Clum G. Crown and root development in oats as related to lodging[J]. *Agricultural Science*, 1951, 65: 307–310
- [16] Welbank P J. Root growth of cereal crops[R]. Rothamsted Report for 1973, part 3: 26–65
- [17] 徐文兵, 吴峰, 邓小华, 等. 根区施用不同生物有机肥对烤烟根系生长发育的影响[J]. *中国烟草科学*, 2017, 38(5): 45–49
- [18] 杨丽丽, 邓小华, 徐文兵, 等. 稻茬烤烟根区施用生物有机肥的效应[J]. *土壤*, 2019, 51(1): 39–45
- [19] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119–121
- [20] 邓小华, 肖志君, 齐永杰, 等. 种植密度和施氮量及其互作对湖南稻茬烤烟经济性状的效应[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(3): 274–279
- [21] 邓小华, 蔡兴, 于庆涛, 等. 增密和减氮对稻茬烤烟物理性状的效应分析[J]. *烟草科技*, 2016, 49(10): 23–30
- [22] 齐永杰, 邓小华, 徐文兵, 等. 密度和施氮量对稻茬烤烟上部烟叶物理性状的效应[J]. *中国农业科技导报*, 2016, 18(6): 129–137
- [23] 邓小华, 杨丽丽, 邹凯, 等. 烟稻轮作模式下烤烟增密减氮的主要化学成分效应分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(4): 991–997
- [24] 邹凯, 于庆涛, 邓小华, 等. 田间不适用鲜烟叶消化处理数量和时期对上部烟叶化学成分的影响[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(34): 30–34
- [25] 田峰, 陆中山, 邓小华, 等. 湘西烟区翻压不同绿肥品种的生态和烤烟效应[J]. *中国烟草学报*, 2015, 21(4): 56–62

## Effects of Concave Ridge Double-Row and Side Mulching on Moisture and Temperature of Plough Soil and Growth of Tobacco During Late Period of Field-planting and Quality of Tobacco Upper Leaves

LUO Jingqing<sup>1,2</sup>, DENG Xiaohua<sup>1\*</sup>, CHEN Jin<sup>1,3</sup>, PEI Xiaodong<sup>3</sup>, LIU Yongjun<sup>4</sup>, HE Mingjun<sup>3</sup>, LI Fan<sup>3</sup>  
(1 College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2 China National Tobacco Corporation, Beijing 100055, China; 3 Changsha Tobacco Company of Hunan Province, Changsha 410011, China; 4 Hunan Tobacco Science Institute, Changsha 410004, China)

**Abstract:** In order to avoid premature senility of tobacco during late period of field-planting and to improve the quality of tobacco upper leaves, the effects of different planting patterns of tobacco (single ridge, concave ridge double-row, concave ridge double-row and side mulching) on the moisture and temperature of plough soil, the root of tobacco, the growth, output and quality of tobacco upper leaves were studied in Liuyang City, Hunan Province. The results showed that, compared with control (single ridge cultivation), concave ridge double-row and side mulching cultivation increased soil moisture by 1.31%–6.38%, decreased soil temperature by 3.30–4.94 °C; enhanced the length, diameter, volume and activity of roots by 37.62%, 34.92%, 69.18% and 10.85%, respectively; increased the area, SPAD value, ratio of top rank and output value of tobacco upper leaves by 20.61%, 10.04%, 8.07% and 7.20%, respectively; improved physical character index and chemical component index by 5.90% and 25.39%, respectively. Compared with concave ridge double-row, the concave ridge double-row and side mulching cultivation increased soil moisture by 1.95%–2.65%, decreased soil temperature by 1.41–3.25 °C; enhanced the length, diameter, volume and activity of roots by 23.24%, 16.442%, 28.62% and 3.28%, respectively; increased the area, SPAD value of tobacco upper leaves by 9.72% and 3.21%, respectively. Therefore, concave ridge double-row and side mulching cultivation is superior to single ridge cultivation in reducing the evaporation of soil water evaporation, retarding the change of soil temperature and the harm of high temperature, promoting the growth of tobacco roots in the late growth stage, improving the photosynthetic capacity of tobacco leaves and increasing the quality of tobacco upper leaves.

**Key words:** Concave ridge double-row and side mulching cultivation; Moisture and temperature; Plough soil; Growth of flue-cured tobacco; Quality of tobacco upper leaves