DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.02.014

吕凯, 吴伯志. 秸秆覆盖对坡地红壤养分流失及烤烟质量的影响. 土壤, 2020, 52(2): 320–326.

秸秆覆盖对坡地红壤养分流失及烤烟质量的影响^①

吕凯, 吴伯志*

(云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

摘要: 连续 2 a 采用野外径流小区观测的方式, 研究了秸秆覆盖对坡地红壤养分流失和烤烟质量的影响。结果表明: 随着秸秆覆盖量的增加, 泥沙中有机质、全氮、全磷和全钾流失量随之减少, 且秸秆覆盖处理显著低于对照($P<0.05$), 分别降低了 53.97%~82.52%、61.49%~85.56%、44.69%~83.75% 和 52.52%~81.79%。与对照比较, 秸秆覆盖处理径流中有机质、全氮、全磷和全钾流失量分别减少了 59.94%~68.24%、45.97%~61.16%、59.74%~62.63% 和 47.14%~54.29%。各处理土壤养分流失量与泥沙中养分流失量的变化趋势表现一致, 土壤有机质、全氮、全磷和全钾流失量较对照分别降低了 56.98%~79.79%、54.46%~77.00%、47.88%~80.93% 和 51.36%~75.78%。此外, 土壤有机质、磷和钾多以泥沙形式流失为主, 而氮素则以泥沙和径流共同流失为主。秸秆覆盖降低了烟叶总糖和还原糖含量, 增加了烟碱、总氮、钾含量及评吸总分。土壤有机质、全氮、全磷和全钾流失量与烟叶总糖和还原糖含量呈显著或极显著正相关, 与烟碱和总氮含量呈显著或极显著负相关。以 7 500 kg/hm² 小麦秸秆量覆盖措施综合效益较好, 可以应用于红壤坡地烤烟生产。

关键词: 秸秆覆盖; 坡地; 养分流失; 烤烟质量

中图分类号: S157; S572 **文献标志码:** A

Effects of Straw Mulching on Nutrient Loss from Red Soil and Quality of Flue-cured Tobacco in Sloping Land

LÜ Kai, WU Bozhi*

(Faculty of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201, China)

Abstract: The effects of straw mulching on nutrient loss from red soil in sloping land and quality of flue-cured tobacco were studied by field runoff plots for two years. The results showed that nutrient loss in sediment decreased with the straw amounts. Compared with CK (no straw mulching), straw mulching significantly reduced the loss of organic matter (OM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and total potassium (TK) in sediment by 53.97%–82.52%, 61.49%–85.56%, 44.69%–83.75% and 52.52%–81.79%, respectively ($P<0.05$), and OM, TN, TP and TK in runoff decreased by 59.94%–68.24%, 45.97%–61.16%, 59.74%–62.63% and 47.14%–54.29%, respectively. Nutrient loss tendency from soil was consistent with the change of nutrient content in sediment, and the losses of OM, TN, TP and TK from soil decreased respectively by 56.98%–79.79%, 54.46%–77.00%, 47.88%–80.93% and 51.36%–75.78%, compared with CK. In addition, the losses of OM, TP and TK mainly depended on sediment, the TN loss not only depended on sediment but also runoff. Straw mulching reduced the contents of total sugar and reducing sugar but increased the contents of nicotine, total nitrogen, potassium and sensory scores of tobacco leaves. The losses of OM, TN, TP and TK from soil were significantly or extremely significantly positively correlated with the contents of total sugar and reducing sugar, and significantly or extremely significantly negatively correlated with the contents of nicotine and total nitrogen of tobacco leaves. 7 500 kg/hm² of straw amount is the best practice than others in this study, and which can be applied in tobacco production in red soil sloping land.

Key words: Straw mulching; Sloping land; Nutrient loss; Quality of flue-cured tobacco

云南省是中国最大的烤烟种植产区, 近年来烤烟 种植面积约 40.60×10⁴ hm²。随着区域农业产业结构

①基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503119)和云南中烟工业有限责任公司科技项目(2016YL05)资助。

* 通讯作者(bozhiwu@outlook.com)

作者简介: 吕凯(1984—), 男, 湖北应城人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事作物耕作学与栽培学研究。E-mail: 378632822@qq.com

的变化,“烤烟上山”问题日益突出,由于大部分烤烟种植于坡地,且多为顺坡起垄种植,降雨时极易产生水土流失,致使坡地土壤耕层变薄^[1],养分流失严重,土壤理化性状变差^[2],烤烟产量和质量下降,严重影响了当地烤烟生产的可持续性。

秸秆覆盖作为一种典型的保护性耕作措施,可以有效降低雨水对表层土壤的侵蚀力,增加地表糙度和雨水入渗,抑制土壤侵蚀和养分流失^[3-4];同时,随着秸秆的降解,土壤物理、化学和生物学性状也可以得到改善,进而增加土壤肥力水平^[5-7]。适宜的土壤环境是烤烟正常生长发育和品质形成的基础条件。已有研究表明,随着土壤有机质、氮和磷的供应水平提高,初烤烟叶烟碱和总氮含量增加,总糖和还原糖含量降低^[8-13];土壤钾的供应水平上升会促进初烤烟叶总糖、还原糖和钾积累,降低烟碱和总氮含量^[14-15]。目前,关于烤烟种植过程中秸秆覆盖的研究报道主要集中在两方面:一是对植烟土壤环境及烤烟经济性状和质量性状的影响^[16-17];另一方面则是从水土保持的角度研究其对土壤侵蚀的影响^[18-19]。而针对土壤养分

流失对烤烟质量影响的研究较少。本研究通过设置 4 个不同梯度的秸秆覆盖量,采用野外径流小区观测的方式,分析了秸秆覆盖对坡地红壤有机质、全氮、全磷、全钾等养分流失及烤烟化学成分和感官质量的影响,并进一步探讨了土壤养分流失量与烤烟质量之间的关系,以期为云南烤烟可持续性生产提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

试验区位于昆明市宜良县九乡乡,海拔 1 905 m,年日照时数 2 123 h,年均气温 14.6 °C,年降雨量 1 064 mm。试验地为缓坡地,坡度 7°。供试土壤类型为红壤,其基本性状见表 1。试验开展时间为 2015 年 4 月—2016 年 10 月。2014 年试验地大春作物为玉米,收获后清除残茬,浅耕休闲。径流小区于 2015 年 4 月上旬建成,并于 6 月中旬烤烟揭膜培土后开始正式监测试验。两年的试验观测期间各发生 6 场降雨产流事件,其中 2015 年和 2016 年产流降雨量分别为 356.5 mm 和 217.9 mm。

表 1 试验区土壤基本性状
Table 1 Soil basic properties in experimental area

pH	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
5.81	26.99	1.35	0.84	5.74	117.50	21.81	206.82

1.2 试验设计

试验共设 4 个处理,采用随机区组设计,重复 3 次,共计 12 个小区,小区面积为 50 m²(10 m×5 m)。小区间采用高 40 cm 的塑料板隔开,并用土掩埋成田埂。径流小区下方设置体积为 1 m³(1 m×1 m×1 m)混凝土径流池,内置体积约 140 L 径流桶,并采用一根直径为 10 cm 的 PVC 管连接径流桶,用于地表径流采集。小区沿等高线起垄 8 行,每行种植 8 株烤烟,共计 64 株,行距 1.20 m,株距 0.55 m。各处理措施见表 2。

表 2 各处理农艺措施
Table 2 Agronomic measures of different treatments

处理	措施
SM1(CK)	烤烟揭膜培土后覆盖 0 kg/hm ² 小麦秸秆,对照
SM2	烤烟揭膜培土后在垄体和垄沟均匀覆盖 3 750 kg/hm ² 小麦秸秆
SM3	烤烟揭膜培土后在垄体和垄沟均匀覆盖 7 500 kg/hm ² 小麦秸秆
SM4	烤烟揭膜培土后在垄体和垄沟均匀覆盖 15 000 kg/hm ² 小麦秸秆

2015—2106 年烤烟移栽时间分别为 5 月 1 日和 5

月 3 日,供试烤烟品种为当地主栽品种 K326。各处理农家肥施用量为 4 500 kg/hm²,氮(N)、磷(P₂O₅)和钾(K₂O)肥施用量分别为 105、135 和 300 kg/hm²(烟草专用复合肥、钙镁磷肥和硫酸钾混合施用)。烤烟中耕培土后用风干切成 5 cm 左右的小麦秸秆进行覆盖。其余田间管理措施按当地优质烟叶生产标准进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 径流和泥沙样品 每次产流后测定各小区径流体积,并搅动径流 2 min,分层采集 1 L 径流,加入浓硫酸调节 pH<2 后,置于冰箱内保存用于测定径流养分;另外,采集 1 L 径流,静置后过滤泥沙,烘干测定泥沙质量及养分含量。径流中有机质含量采用重铬酸钾容量法测定,全氮含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,全磷含量采用钼酸铵分光光度法测定,全钾含量采用火焰原子吸收分光光度法测定。泥沙中有机质、全氮、全磷、全钾含量分别采用重铬酸钾容量法、凯氏定氮法、高氯酸-硫酸消解钼锑抗比色法、火焰光度法测定。径流养分流失量(kg/hm²)= 径流养分含量(g/L)× 径流体积(L)× 10/ 小区面积(m²); 泥沙养分流失量(kg/hm²)= 泥沙养分

含量(g/kg) × 径流含沙量(g/L) × 径流体积(L)/[小区面积(m²) × 100]。

1.3.2 初烤烟叶样品 烤烟封顶后对叶片进行挂牌标记, 成熟采收烘烤后, 每个小区选取 1 ~ 1.5 kg 等级为 C3F 的初烤烟叶用于化学成分测定和感官质量评价。烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾和氯含量分别采用连续流动法测定, 感官质量采用九分制呼吸法^[20]进行评价。

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 21.0 和 Excel 2016 软件进行统计分析, 其中多重比较采用 Duncan 法($P < 0.05$), 相关分析采用 Pearson 法进行($P < 0.01$)。

2 结果与分析

2.1 秸秆覆盖对径流和泥沙量的影响

径流和泥沙是土壤养分流失的主要载体^[21]。由表 3 数据可知, 随着秸秆覆盖量增加, 径流和泥沙量均呈下降趋势(除 2015 年 SM4 处理径流), 且秸秆覆盖处理径流和泥沙量均显著低于对照($P < 0.05$)。这说明秸秆覆盖能显著降低坡地产流和产沙量, 减少土壤侵蚀。

表 3 各处理径流和泥沙量

Table 3 Runoff and sediment yields under different treatments

年份	处理	径流(m ³ /hm ²)	泥沙(kg/hm ²)
2015	SM1(CK)	635.90 a	3 274.14 a
	SM2	348.96 b	1 348.01 b
	SM3	424.86 b	967.90 bc
	SM4	430.29 b	604.68 c
2016	SM1(CK)	462.94 a	936.93 a
	SM2	212.94 b	404.33 b
	SM3	193.87 b	296.90 b
	SM4	98.97 c	102.56 c

注: 表中同列数据后小写字母不同表示同一年份各处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著; 下同。

2.2 秸秆覆盖对土壤养分流失量的影响

2.2.1 泥沙养分流失量 通过连续 2 a 的观测, 各处理泥沙有机质、全氮、全磷和全钾流失量均随着秸秆覆盖量的增加而减少, 且对照(SM1)泥沙养分流失量均显著高于其余处理($P < 0.05$), 各处理泥沙养分流失量与泥沙流失量变化趋于一致(表 4)。与 CK 相比, SM2、SM3 和 SM4 处理泥沙有机质、全氮、全磷和全钾流失量分别降低了 53.97% ~ 82.52%、61.49% ~ 85.56%、44.69% ~ 83.75% 和 52.52% ~ 81.79%。以上结果表明秸秆覆盖能有效减少土壤养分流失, 秸秆

覆盖量越高, 抑制效果越好。这可能是由于秸秆覆盖减缓了雨水对表层土壤的冲击, 减少了径流中泥沙含量, 从而降低了土壤养分流失, 这与人研究结果基本类似^[22]。

表 4 不同处理泥沙养分流失量

Table 4 Sediment nutrients under different treatments

年份	处理	有机质(kg/hm ²)	全氮(kg/hm ²)	全磷(kg/hm ²)	全钾(kg/hm ²)
2015	SM1(CK)	86.73 a	4.16 a	2.02 a	19.65 a
	SM2	33.69 b	1.55 b	0.84 b	8.44 b
	SM3	20.08 bc	1.03 bc	0.54 c	5.79 c
	SM4	17.18 c	0.70 c	0.32 c	4.00 c
2016	SM1(CK)	21.72 a	0.83 a	0.42 a	4.73 a
	SM2	11.56 b	0.50 b	0.29 b	2.46 b
	SM3	7.43 c	0.28 c	0.19 c	1.72 b
	SM4	3.29 d	0.10 d	0.07 d	0.76 c

2.2.2 地表径流养分流失量

由表 5 可知, 2 a 的观测结果显示, 与 CK 相比, 其余 3 个处理径流有机质、全氮、全磷和全钾流失量均降低, 各处理地表径流养分流失量与径流量变化趋势类似。其中 2016 年 SM2、SM3 和 SM4 处理径流养分含量均显著低于 CK($P < 0.05$), 且随着秸秆覆盖量的增加径流养分流失量降低, 而 2015 年仅径流有机质和全磷流失量显著低于 CK($P < 0.05$)。2015 年和 2016 年 SM2、SM3 和 SM4 处理径流有机质、全氮、全磷和全钾分别较 CK 降低 59.94% ~ 68.24%、45.97% ~ 61.16%、59.74% ~ 62.63% 和 47.14% ~ 54.29%。这说明秸秆覆盖可以降低径流养分流失量而减少土壤养分流失, 可能是因为秸秆覆盖减缓了雨水对土壤冲击, 有利于雨水入渗而减少地表径流产生, 进而降低了径流养分流失量。

表 5 不同处理径流养分流失量

Table 5 Runoff nutrients under different treatments

年份	处理	有机质(kg/hm ²)	全氮(kg/hm ²)	全磷(kg/hm ²)	全钾(kg/hm ²)
2015	SM1(CK)	16.54 a	1.89 a	0.32 a	5.30 a
	SM2	7.65 b	1.42 ab	0.11 c	2.79 b
	SM3	7.15 b	1.26 b	0.13 c	2.30 b
	SM4	7.30 b	1.14 b	0.19 b	3.57 ab
2016	SM1(CK)	12.90 a	1.67 a	0.13 a	1.62 a
	SM2	4.37 b	0.55 b	0.06 b	0.86 b
	SM3	3.91 bc	0.53 b	0.05 bc	0.78 b
	SM4	2.50 c	0.29 b	0.02 c	0.39 c

2.2.3 养分流失总量

各处理土壤养分流失总量(泥沙养分流失量和地表径流养分流失量)结果见表

6。由表 6 可知, 2015—2016 年 SM2、SM3 和 SM4 处理土壤有机质、全氮、全磷和全钾流失量均显著低于 CK ($P < 0.05$), 分别平均降低了 56.98% ~ 79.79%、54.46% ~ 77.00%、47.88% ~ 80.93% 和 51.36% ~ 75.78%, 且随着秸秆覆盖量的增加, 各处理养分流失量呈下降趋势。这主要是因为秸秆覆盖降低了坡面产流和产沙量从而降低了土壤养分的流失总量。

表 6 不同处理土壤养分流失总量
Table 6 Soil nutrient losses under different treatments

年份	处理	有机质 (kg/hm ²)	全氮 (kg/hm ²)	全磷 (kg/hm ²)	全钾 (kg/hm ²)
2015	SM1(CK)	103.27 a	6.05 a	2.34 a	24.95 a
	SM2	41.34 b	2.97 b	0.95 b	11.23 b
	SM3	27.23 bc	2.29 c	0.67 bc	8.09 c
	SM4	24.48 c	1.84 c	0.51 c	7.57 c
2016	SM1(CK)	34.62 a	2.50 a	0.55 a	6.35 a
	SM2	15.93 b	1.05 b	0.35 b	3.32 b
	SM3	11.34 c	0.81 b	0.24 c	2.50 b
	SM4	5.79 d	0.39 c	0.09 d	1.15 c

结合表 4 和表 5, 2015 年和 2016 年各处理泥沙养分累计流失量占土壤养分流失总量比重为: 有机质 72.66%、全氮 46.29%、全磷 81.04% 和全钾 72.83%;

表 7 不同处理烟叶化学成分
Table 7 Tobacco chemical constitutions under different treatments

年份	处理	总糖(g/kg)	还原糖(g/kg)	烟碱(g/kg)	总氮(g/kg)	钾(g/kg)	氯(g/kg)
2015	SM1(CK)	371.00 a	285.33 a	20.03 b	18.47 b	14.40 a	2.80 a
	SM2	347.67 b	262.67 b	26.00 a	20.67 a	16.90 a	2.53 a
	SM3	323.67 c	243.00 c	27.27 a	21.20 a	17.23 a	2.53 a
	SM4	340.00 bc	253.00 bc	26.07 a	21.57 a	17.17 a	3.48 a
2016	SM1(CK)	359.00 a	280.33 a	22.90 b	18.97 b	16.53 a	2.47 a
	SM2	335.00 ab	254.67 b	24.63 ab	21.93 a	17.27 a	2.63 a
	SM3	326.33 b	244.00 b	26.40 ab	22.63 a	18.30 a	2.37 a
	SM4	317.00 b	244.67 b	28.17 a	22.00 a	17.80 a	3.07 a

2.3.2 感官质量 2015 年和 2016 年各秸秆覆盖处理在感官总分上均高于 CK, 其中以 SM3 处理最高, 但仅 SM3 处理得分显著高于 CK ($P < 0.05$), 这与翟兴等^[24]研究结果类似, 但在香气质、香气量、杂气、刺激性和余味等方面各处理间整体差异不大(表 8)。

2.4 土壤养分流失量与烤烟质量的相关性

2015 年和 2016 年土壤养分流失量与烤烟质量相关性分析结果见表 9。土壤有机质、全氮、全磷和全钾流失量与烟叶总糖和还原糖含量均呈显著或极显著正相关, 与烟碱、总氮含量呈显著或极显著负相关, 而与钾、氯含量及评吸总分呈负相关关系, 但未达到

而径流养分流失量占比则为: 有机质 27.34%、全氮 53.71%、全磷 18.96% 和全钾 27.17%。这说明土壤有机质、磷和钾多以泥沙形式流失为主, 而泥沙和径流则是氮素流失共同的主要形式, 其原因可能是土壤中有有机质、磷和钾大部分难溶于水, 其主要随泥沙迁移流失, 而氮则难溶和易溶部分较接近, 致使泥沙和径流中全氮的流失量占比相差不大。

2.3 不同处理对烤烟质量的影响

2.3.1 化学成分 由表 7 可知, 根据云南中烟优质烟叶化学指要求^[23], 以 SM3 和 SM4 处理初烤烟叶化学成分协调性较好。2015 年和 2016 年各处理烟叶总糖和还原糖含量均以 CK 最高, 其含量大小表现为 CK > SM2 > SM3 (除 SM4 外); 而烟碱、总氮和钾含量则以 CK 烟叶最低, 含量大小表现为 CK < SM2 < SM3 (除 SM4 外); 各处理烟叶氯含量均无显著性差异 ($P > 0.05$)。当秸秆覆盖量在 0 ~ 7 500 kg/hm² 时, 各处理总糖和还原糖含量均表现出递减趋势, 烟碱、总氮和钾含量呈上升趋势; 而当秸秆量达到 15 000 kg/hm², 不同年份间 SM3 与 SM4 处理烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮和钾含量大小关系表现不一致, 但均无显著性差异 ($P > 0.05$)。上述结果说明秸秆覆盖可以有效降低烟叶总糖、还原糖含量, 提高烟碱和总氮含量。

显著水平。这说明土壤养分流失对烟叶质量影响较大, 尤其是对烤烟碳氮化合物含量的影响。这可能是因为土壤养分流失集中于耕作表层, 而这一部分养分作为烟株生长发育的重要来源, 随着土壤养分流失量的增加, 尤其是有机质和氮的流失, 烟株对氮素吸收能力也减弱, 从而导致含氮化合物含量降低, 而含碳化合物含量增加。

3 讨论

胡小曼等^[25]研究表明, 小麦秸秆覆盖能降低初烤烟叶总糖和还原糖含量, 提升烟碱和总氮含量, 这

表 8 不同处理烟叶感官质量评分
Table 8 Scores of tobacco smoking qualities under different treatments

年份	处理	香气质	香气量	杂气	刺激性	余味	评吸总分
2015	SM1(CK)	7.00 ab	6.17 a	6.67 b	6.83 a	6.33 a	33.00 b
	SM2	6.67 b	6.50 a	6.67 b	6.83 a	6.50 a	33.17 ab
	SM3	7.33 a	6.50 a	7.17 a	7.17 a	6.50 a	34.67 a
	SM4	7.17 a	6.33 a	6.83 ab	7.00 a	6.33 a	33.67 ab
2016	SM1(CK)	7.00 a	6.00 a	6.67 a	6.50 b	6.33 a	32.50 b
	SM2	6.83 a	6.17 a	7.00 a	7.00 ab	6.67 a	33.67 ab
	SM3	7.33 a	6.33 a	6.67 a	7.33 a	6.67 a	34.33 a
	SM4	7.17 a	6.17 a	6.67 a	6.67 b	6.17 a	32.85 b

表 9 土壤养分流失量与烤烟质量的相关性
Table 9 Correlation between soil nutrient loss and tobacco quality

年份	指标	总糖	还原糖	烟碱	总氮	钾	氯	评吸总分
2015	有机质	0.748**	0.829**	-0.878**	-0.865**	-0.312	-0.142	-0.452
	全氮	0.767**	0.831**	-0.875**	-0.856**	-0.333	-0.152	-0.473
	全磷	0.731**	0.780**	-0.873**	-0.847**	-0.316	-0.142	-0.444
	全钾	0.786**	0.856**	-0.874**	-0.879**	-0.248	-0.086	-0.481
2016	有机质	0.786**	0.890**	-0.685*	-0.812**	-0.451	-0.247	-0.392
	全氮	0.750**	0.839**	-0.739**	-0.814**	-0.394	-0.325	-0.355
	全磷	0.759**	0.850**	-0.749**	-0.763**	-0.465	-0.356	-0.326
	全钾	0.705*	0.810**	-0.701*	-0.752**	-0.338	-0.249	-0.265

注：*表示在 $P<0.05$ 水平(双侧)上显著相关，**表示在 $P<0.01$ 水平(双侧)上显著相关。

与本研究结果类似，而与徐天养等^[26]研究结果存在差异。随着秸秆覆盖量增加，初烤烟叶总糖(除 2015 年 SM4 处理外)和还原糖含量呈递减趋势，而烟碱和总氮含量则呈上升趋势，这与郑宪滨等^[27]研究结果也存在差异，且各处理土壤养分流失量与总糖、还原糖、烟碱和总氮含量均达到显著或极显著相关。上述结果表明，在不同条件下，秸秆覆盖对烤烟碳氮代谢影响的机制存在差异。土壤养分供应水平是影响烤烟碳氮代谢平衡的关键因素，而硝酸还原酶活性则是烟草氮素吸收和利用的限速因子。在一定氮素供应水平范围内，随着土壤供氮水平的上升，硝酸还原酶活性增加，低氮水平有利于烟草碳代谢，增加烟叶含碳化合物的积累，而高氮水平则有利于烟草氮代谢，促进烟叶含氮化合物的合成^[28]，而土壤有机质及有效磷含量提升，也会提升土壤氮素供应能力。

已有研究结果表明，秸秆覆盖对土壤养分供应能力的影响主要来自于土壤理化性状、生物学性状^[29-30]，以及土壤侵蚀和养分流失等方面^[4,31]，而土壤养分供应能力又是影响烤烟碳氮代谢的关键因素。因此，本试验中各处理烟叶总糖、还原糖、烟碱和总氮含量的差异原因应该是秸秆覆盖一方面增加了土壤水分、通

透性、微生物数量和酶活性，改善了土壤微环境，提升了根系活力和硝酸还原酶活性，从而促进对土壤养分吸收和利用，使烤烟氮代谢加强；另一方面则可能是秸秆覆盖大幅降低了垄体表层土壤侵蚀和有机质、氮和磷的流失，提升了土壤微生物活性及土壤酶活性^[32-33]，增加了垄体土壤养分的供应水平，促进了根系对土壤养分的吸收和利用，增强了烤烟氮代谢水平，而抑制了碳代谢。

3 个秸秆覆盖处理土壤养分流失量均显著低于对照($P<0.05$)，以 SM4 处理抑制养分流失效果最好，其次为 SM3 处理，但 SM4 处理仅在 2016 年显著低于 SM3 处理，而 2015 年与之相比则未达到显著差异水平($P>0.05$)。此外，秸秆覆盖处理烟叶化学成分协调性和感官质量总分均优于对照，其中以 SM3 处理烟叶综合质量最佳；随着秸秆覆盖量增加，烟叶感官质量总分呈先增加后降低趋势，这说明当秸秆量达到 $15\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 时会降低烟叶感官质量。因此，以 $7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ (SM3)小麦秸秆覆盖量的综合效益较好，可以应用于红壤坡地烤烟生产。

本研究通过野外径流小区观测，探讨了秸秆覆盖对坡地红壤养分流失及烤烟质量的影响，提出了有利

于坡地烤烟生产的秸秆覆盖措施,但是不同养分形态对烟叶质量的影响也存在差异^[34-36],因此不同养分形态流失量对烟叶质量的影响仍需进一步研究。

4 结论

1) 秸秆覆盖可以有效降低土壤养分流失量,其中土壤有机质、全氮、全磷和全钾流失量分别较对照降低了56.98%~79.79%、54.46%~77.00%、47.88%~80.93%和51.36%~75.78%。此外,土壤不同养分流失的载体存在差异,其中土壤有机质、磷和钾多以泥沙形式流失为主,而氮素则以泥沙和地表径流共同流失为主。

2) 秸秆覆盖降低了烟叶总糖和还原糖含量,提升了烟叶烟碱、总氮、钾含量和感官质量,促进了烟叶质量的提升。

3) 综合分析认为,以7500 kg/hm²小麦秸秆量覆盖措施综合效益较好,可以应用于红壤坡地烤烟生产,同时为云南烤烟生产的可持续性发展提供一定参考。

参考文献:

- [1] 史东梅, 蒋光毅, 蒋平, 等. 土壤侵蚀因素对紫色丘陵区坡耕地耕层质量影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(13): 270-279.
- [2] 彭旭东, 戴全厚, 李昌兰, 等. 模拟雨强和地下裂隙对喀斯特地区坡耕地养分流失的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(2): 131-140.
- [3] Prosdocimi M, Jordán A, Tarolli P, et al. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards[J]. Science of the Total Environment, 2016, 547: 323-330.
- [4] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, et al. Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China[J]. Agricultural Water Management, 2012, 110(3): 34-40.
- [5] Jordán A, Zavala L M, Gil J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain[J]. Catena, 2010, 81(1): 77-85.
- [6] Akhtar K, Wang W Y, Ren G, et al. Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China[J]. Soil & Tillage Research, 2018, 180: 94-102.
- [7] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1069-1075.
- [8] Karaivazoglou N A, Tsotsolis N C, Tsadilas C D. Influence of liming and form of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, growth, yield, and quality of Virginia (flue-cured) tobacco[J]. Field Crops Research, 2007, 100(1): 52-60.
- [9] Cai X, Qian C. Effects of forms and application rate of nitrogen fertilizer on yield and qualities of tobacco in southeast Tibet[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(1): 66-70.
- [10] Ju X T, Chao C F, Li C J, et al. Yield and nicotine content of flue-cured tobacco as affected by soil nitrogen mineralization[J]. Pedosphere, 2008, 18(2): 227-235.
- [11] 王小东, 田晓莉, 许自成, 等. 不同土壤有机质水平对烤烟内在品质的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(5): 99-105.
- [12] 肖庆礼, 黄帅, 刘国顺, 等. 施磷对低磷土壤烤烟化学成分和香气物质含量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(5): 491-496.
- [13] 翟优雅, 张立新, 高梅, 等. 施用磷肥对烤烟烟叶氮磷钾养分以及酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(2): 53-57.
- [14] 黎妍妍, 许自成, 王金平, 等. 湖南烤烟总糖、还原糖含量与几种土壤养分的关系分析[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 911-914.
- [15] 唐先干, 冯小虎, 齐飞, 等. 磷钾肥配施对红壤旱地烤烟产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(4): 76-81.
- [16] 黄化刚, 班国军, 陈垚, 等. 多孔改良剂对毕节烟区土壤性状及烤烟产质量的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1427-1437.
- [17] 张启明, 苑举民, 何宽信, 等. “前膜后草”覆盖栽培对旱地紫色土烤烟产质量及中性香气物质的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 539-543.
- [18] 邱学礼, 李军营, 李向阳, 等. 云南曲靖烤烟坡耕地不同农作处理的水土流失特征[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(6): 98-103.
- [19] 郑好, 管赛赛, 王文亮, 等. 保护性耕作对坡耕地烟田水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 43-46.
- [20] 闫洪洋, 闫洪喜, 吉松毅, 等. 河南烤烟外观质量与感官质量的相关性[J]. 烟草科技, 2012(7): 17-23.
- [21] Ao C, Yang P, Ren S, et al. Efficacy of granular polyacrylamide on runoff, erosion and nitrogen loss at loess slope under rainfall simulation[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(6): 1-10.
- [22] 白文忠, 王克勤. 抚仙湖典型小流域烤烟坡地产生流沙及氮磷流失特征[J]. 中国水土保持科学, 2009, 3(3): 46-51.
- [23] 徐兴阳, 罗华元, 饶智, 等. 应用隶属函数模型评价烟叶常规化学成分的方法[J]. 山地农业生物学报, 2015(3): 19-23.
- [24] 瞿兴, 王毅, 左天龙, 等. 秸秆和氮肥配合施用对高肥力土壤烤烟产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(4): 426-430.
- [25] 胡小曼, 李佛琳, 杨焕文, 等. 覆盖对烟田土壤水热状况和烤烟生长及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(5): 34-38.

- [26] 徐天养, 赵正雄, 李忠环, 等. 中耕培土后覆盖秸秆对烤烟生长及养分吸收和产质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(4): 18–22.
- [27] 郑宪滨, 张正杨, 刘国顺, 等. 秸秆覆盖对烟田土壤性状和烟叶质量的影响[J]. 河南农业科学, 2007, 36(10): 47–50.
- [28] 岳红宾. 不同氮素水平对烟草碳氮代谢关键酶活性的影响[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(1): 18–20.
- [29] 潘雅文, 樊军, 郝明德, 等. 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1558–1567.
- [30] 黄容, 高明, 万毅林, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(11): 4446–4456.
- [31] 张白雪, 何福红, 朱巧红, 等. 有机培肥对红壤坡耕地产流产沙的影响[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1237–1242.
- [32] Nie X, Zhang J, Gao H. Soil enzyme activities on eroded slopes in the Sichuan Basins China[J]. *Pedosphere*, 2015, 25(4): 489–500.
- [33] 喻为, 李忠武, 黄金权, 等. 水力侵蚀影响下土壤有机碳和微生物数量动态变化特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 423–430.
- [34] 谢晋, 严玛丽, 陈建军, 等. 不同铵态氮硝态氮配比对烤烟产量、质量及其主要化学成分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 1030–1037.
- [35] 张翔, 翟文汇, 孙大为, 等. 有机钾肥和钾硅钙矿物肥对烤烟生长及烟叶产量质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(6): 71–75.
- [36] 陈海生, 刘国顺. 豫中烤烟种植区烟叶石油醚提取物含量与土壤养分的空间变异性分析[J]. 核农学报, 2013, 27(1): 108–117.