

小麦秸秆还田对烤烟叶片发育及产质量的影响

王毅^{1,2,3}, 宋文静¹, 吴元华¹, 高政绪³, 刘祥^{1,2}, 刘跃东^{1,2}, 管恩森³,
李文丽^{1,2}, 张本强⁴, 王树声^{1*}

(1.中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2.中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3.山东潍坊烟草有限公司, 山东潍坊 262200; 4.山东中烟工业有限责任公司, 济南 250014)

摘要:为探讨适宜的小麦秸秆施用方式, 田间试验比较了小麦秸秆直接施用和制成生物炭施用两种方式对烤烟叶片发育、烟叶产量及品质的影响。结果表明, 与常规施肥相比, 秸秆直接施用前期抑制、后期促进烟株叶片发育, 对产量、产值及中部叶片外观质量影响较小, 中、上部烟叶含钾量及烟碱含量均显著提高; 施用秸秆生物炭促进了烤烟叶片发育, 产量、产值显著提高, 增幅分别为 21.83%、54.23%, 改善了中部烟叶外观质量, 叶片身份、油分得分及外观质量总分显著增加, 显著提高了中、上部烟叶含钾量, 增幅分别为 8.39%和 22.63%, 且烟碱含量增加不明显。可见, 施用小麦秸秆生物炭能够促进烟株生长、提高烟叶产量、改善烟叶品质。

关键词: 麦秸秆; 生物质炭; 烤烟叶片发育; 产量; 烟叶质量

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119 (2018) 02-0032-07

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2018.02.005

Effects of Returning Wheat Straw to Soil on Leaf Development, Yield and Quality of Tobacco

WANG Yi^{1,2,3}, SONG Wenjing¹, WU Yuanhua¹, GAO Zhengxu³, LIU Xiang¹, LIU Yuedong¹,
GUAN Ensen³, LI Wenli^{1,2}, ZHANG Benqiang⁴, WANG Shusheng^{1*}

(1.Ministry of Agriculture, Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Qingdao 266101, China; 2. The Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Weifang Tobacco Co., Ltd. of Shandong Province, Weifang 262200, China; 4. Shandong Tobacco Industrial Co., Ltd., Jinan 250014, China)

Abstract: To explore suitable wheat straw application measure, a field experiment was carried out to determine contrasting effects of wheat straw incorporation and wheat straw-derived biochar on leaf development, yield and quality of tobacco leaves. The results showed that tobacco leaf development was firstly restrained, then promoted when using wheat straw incorporation, which showed little impact on tobacco yield, output as well as visual appearance of middle tobacco leaves. And contents of potassium and nicotine in both middle and upper leaves were significantly increased in this treatment. Tobacco leaf development was generally promoted with application of wheat straw-derived biochar, and yield and output of tobacco were significantly increased by 21.83%, 54.23% respectively. Scores of body, oil and total scores of visual appearance in middle tobacco leaves were significantly increased in this treatment. Contents of potassium in middle and upper leaves were also significantly increased by 8.39%, 22.63%, respectively, while no significant increase of nicotine content was observed with biochar addition. Therefore, biochar addition is a suitable strategy to improve leaf development, as well as yield and quality of tobacco.

Keywords: wheat straw; biochar; development of flue-cured tobacco leaf; yield; quality

为了追求经济效益, 烟叶生产过度依赖氮肥、盲目追求产量的现象较为普遍, 这往往造成土壤养分失衡、土壤结构变差, 烟株生理代谢失调、贪青晚熟、烟叶品质下降^[1]。大量研究表明, 秸秆还田

是促进烟株发育, 改善烟叶品质, 增加烟农收入的有效途径^[2-3]。

作物秸秆中含有丰富的磷、钾、镁等元素^[4]。

研究表明, 长期秸秆还田作为一种重要的农田培肥

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-TRICO3)

作者简介: 王毅 (1981-), 博士研究生, 主要从事烤烟栽培与耕作方面研究。E-mail: 65202900@qq.com。*通信作者, E-mail: wangshusheng@caas.cn

收稿日期: 2017-08-24

修回日期: 2018-01-05

措施,是保持土壤持久生产力、促进农业生产可持续发展的重要手段^[5]。但也有人认为,秸秆直接还田会造成土壤碳氮比失调、土壤微生物与作物幼苗争夺养分、增加田间病虫害等问题^[6-7]。秸秆的还田方式主要有直接还田、高茬还田、覆盖还田等,秸秆以何种方式还田更有利于作物产量的提高、品质的改善还存在较大争议^[8]。

生物质炭是将有机废弃物资源在高温厌氧条件下进行热解后产生的含碳高分子化合物,具有较大的比表面积、高度的稳定性及较强的吸附特性^[9],可以吸附铵、硝酸盐、磷和其他水溶性盐离子,具有较好的保肥性能^[10]。国内外大量研究表明,施用秸秆生物炭能够增加土壤有机碳含量,改良土壤理化性质^[11],增加作物产量^[12],减少温室气体排放^[13]。由于在土壤改良、固碳减排等方面的良好作用,生物质炭已经为越来越多的科研工作者所关注。

本文以小麦秸秆为例,系统比较了等秸秆用量条件下,小麦秸秆直接还田和制成生物炭还田两种方式对烤烟叶片生长发育、烟叶产量及不同部位叶片质量的影响,以期为提升烟叶种植效益和改善烟叶品质提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2016 年在山东省诸城市贾悦镇西洛庄进行。试验区地处鲁东丘陵区,属温带季风气候区,季风气候特征明显。年平均日照时数 2 578.4 h;年平均气温 12.3 ℃;年平均降雨量 773 mm,无霜期为 232 d。试验田土壤类型为潮褐土,试验田肥力均匀,常年种植烤烟,为一年一熟制,已连续种植 5 年以上。试验区土壤主要理化性质如下:有机质

8.58 g/kg,碱解氮 91 g/kg,有效磷 20.6 g/kg,有效钾为 213.59 g/kg;小麦秸秆及小麦秸秆生物炭基本理化性状如表 1 所示。

1.2 试验设计

试验共设 3 个处理,其中 T1:常规施肥+施用小麦秸秆 6.75 t/hm²;T2:常规施肥+施用小麦秸秆生物炭 2.25 t/hm²(生物炭为当地自制,以小麦秸秆为原料,经 400~500 ℃高温热解转化而成,小麦秸秆转化为生物炭的比例约为 33.3%);CK:常规施肥。每个处理设 3 次重复,试验小区面积为 48 m²,烟株行、株距为 1.2 m×0.5 m,移栽密度为 16 500 棵/hm²。在烟田起垄前(2016 年 3 月 25 日),将小麦秸秆(生物炭)进行地表撒施,经翻耕混匀后,进行施肥起垄。参考当地施肥方案,化学肥料按照纯氮施用量 76.5 kg/hm²,m(N):m(P₂O₅):m(K₂O)=1:1.1:2.5 的比例施用。供试烤烟品种为 NC55,于 5 月 10 日移栽,9 月 10 日采收结束;大田管理按照当地优质烟叶生产技术规范进行。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 叶片生长发育及单叶重 每试验小区选取 5 株长势正常的烟株,分别于移栽后 25、40、55、70 和 85 d 测定最大叶长、最大叶宽及生物学叶片数,叶面积=叶片长×叶片宽×经验校正系数 0.634 5^[14];并于烟株打顶前,对烤烟有效叶片进行标记,烘烤结束后,测定标记叶片的单叶重。

1.3.2 烤烟经济性状分析 烟叶烘烤结束后,依据 2016 年山东潍坊烟草有限公司的烟叶收购等级及价格,对不同试验处理烤后烟叶进行测产、分级后,进行经济性状分析。

表 1 试验材料基本理化性状

Table 1 Basic properties of experimental materials

试验材料 Experimental material	pH	总有机碳 Total organic carbon/ (mg·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/ %	全磷 Total phosphorus/ (g·kg ⁻¹)	全钾 Total Potassium/ (g·kg ⁻¹)	全钙 Total Calcium/ (g·kg ⁻¹)	全镁 Total Magnesium/ (g·kg ⁻¹)
小麦秸秆	7.62	26.44	1.16	1.04	10.00	6.50	3.20
小麦秸秆生物炭	10.58	36.98	1.20	0.21	4.20	9.80	5.20

1.3.3 烤烟外观质量 每试验小区取采集烤后的 X2F、C3F 和 B2F 等级烟叶各 1 kg, 按照国标 GB 2635—92^[15], 组织 3 名具有专业分级技术资质人员

对部位、颜色、成熟度、叶片结构、身份、油分、色度等外观品质因素进行鉴定并打分;参考文献[16] 的评分标准(表 2)。

表 2 烟叶外观质量及评分标准

Table 2 Raw tobacco appearance quality and standard for evaluation

部位 Part		颜色 Color		成熟度 Maturity		结构 Structure		身份 Body		油分 Oil		色度 Color intensity	
标准 Standard	得分 Score	标准 Standard	得分 Score	标准 Standard	得分 Score	标准 Standard	得分 Score	标准 Standard	得分 Score	标准 Standard	得分 Score	标准 Standard	得分 Score
上部	5~8	橘黄	7~10	完熟	6~9	疏松	8~10	中等	7~10	多	8~10	浓	8~10
中部	8~10	柠檬黄	6~9	成熟	7~10	尚疏松	5~8	稍薄	4~7	有	5~8	强	6~8
下部	3~6	红棕	3~7	尚熟	4~7	稍密	3~5	薄	0~4	稍有	3~5	中	4~6
						紧密	0~3			少	0~3	弱	2~4
												淡	0~2

1.3.4 内在化学成分分析 采用近红外光谱(NIR)定量分析技术对烟叶样品的主要化学成分进行分析,近红外分析仪为 NIRS DS2500 型多功能近红外光谱仪(丹麦 FOSS 公司制造),使用光栅检测器,空气作背景。首先将烤烟烟叶样品烘干,研磨成粉末,粒度为 40 目。取烟叶样品粉末 10 g 置于直径 5 cm 石英测量杯中,用自制压样器压样后,按下述条件进行光谱扫描:采样间隔 0.5 nm,扫描次数 64 次,光谱范围 400~2500 nm,室温(16~28℃),湿度 70%以下。

1.4 数据处理

采用 EXCEL 2013 和 SPSS 13.0 进行数据处理和统计分析。

2 结果

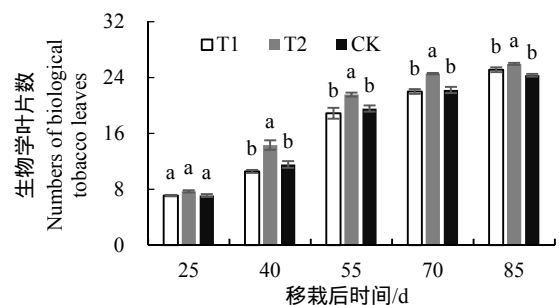
2.1 不同处理烤烟叶片数变化

如图 1 所示,随生育期进展,不同处理烤烟叶片数均呈递增趋势。移栽后 25 d,不同处理间烤烟叶片数与 CK 差异不显著,移栽后 40、55、70 及 85 d, T2 处理叶片数均显著高于 T1、CK,但 T1 与 CK 差异不显著。

2.2 不同处理烤烟最大叶面积变化

如图 2 所示,移栽后 20 d,各处理叶面积差异不大;移栽后 40 d, T2 处理叶面积显著高于其他处理,CK 显著高于 T1;移栽后 40~55 d,各处理叶面积急剧增加,随后叶面积变化比较平缓;移栽后 55、70 及 85 d,各处理叶面积均以 T2 最大,且显

著高于 CK,平均增幅达到 9.21%。栽后 55 和 70 d, T1 处理叶面积与 CK 相比差异不显著,栽后 85 d, T1 处理叶面积显著高于 CK,增幅为 12.94%。



注:字母不同表示处理间显著差异(P<0.05)。下同。

Note: Different letters in the same stage represent the significance among treatments at P<0.05. The same as in Fig 2.

图 1 不同处理对烤烟生物学叶片数的影响

Fig 1 Effects of different treatments on the number of biological leaves

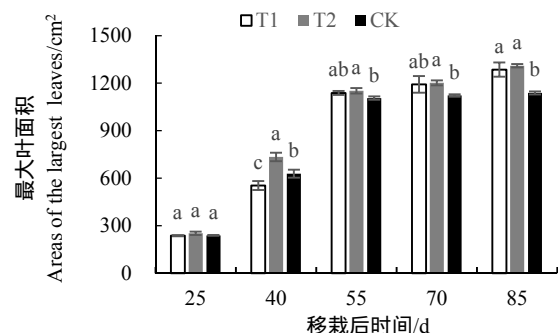


图 2 不同处理对烤烟最大叶面积的影响

Fig 2 Effects of different treatments on the largest tobacco leaf area

2.3 不同部位叶片单叶重

如表 3 所示,与 CK 相比, T1 下部叶单叶重略

有降低,中、上部烟叶单叶重略有增加;T2 处理下,中、上部叶片单叶重均显著提高,增幅分别为 6.76%, 12.33%和 8.90%。

表 3 不同处理对单叶重的影响

Table 3 Effect of different treatments on single-leaf weight

处理 Treatment	下部叶 Lower leaf	中部叶 Middle leaf	上部叶 Upper leaf
T1	7.32b	10.88ab	11.31ab
T2	8.21a	11.57a	11.62a
CK	7.69b	10.30b	10.67b

注：表中不同字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)，下同。
Note: Different letters in the table represent the significance among treatments at $P<0.05$.

2.4 烤烟经济性状

如表 4 所示, T1 处理叶片平均单叶重、有效叶数、产量、产值、上等烟比例、均价等均略高于 CK, 但与 CK 相比差异不显著, T2 处理叶片平均单叶重、有效叶数、产量、产值、上等烟比例及均价均为最高, 且与 CK 相比差异显著, 产量、产值分别较 CK 提高 21.83%和 54.23%。

2.5 烤后烟叶外观质量

如表 5 所示, 下部烟叶外观质量总分处理间差异不显著, 与 CK 相比, T2 显著提高了烟叶颜色、

成熟度得分, 但身份、油分得分显著低于 CK; 中部烟叶外观质量总分以 T2 为最高, 且总分、身份、油分得分均显著高于 CK, 上部烟叶外观质量总分以 T1 处理最高, 且成熟度、结构、身份得分显著高于 CK。

2.6 烟叶内在化学成分

一般认为, 优质烤烟要求总糖含量 18%~22%、还原糖含量 16%~20%、烟碱含量 1.5%~3.5%、总氮含量 1.5%~3.5%、钾含量 $>2%$ ^[19], 而优质烟叶的适宜烟碱含量为 2.2~2.8%^[20]。如表 6 所示, 除中、上部烟叶部分处理总糖含量略高、钾含量普遍偏低外, 试验各处理烟叶化学成分含量基本都处于适宜范围内。与其他处理相比, T2 处理不同部位烟叶总糖、还原糖含量偏低, 以上部烟叶表现最为明显。烟碱含量下部叶片表现为 $CK>T2>T1$, 中部叶片表现为 $T1>CK>T2$, 上部叶片则表现为 $T1>T2>CK$, T1 处理叶片中、上部叶片烟碱含量比 CK 分别提高了 5.94%、18.97%, 已超出 2.2%~2.8%的适宜值; 处理间总氮变化趋势与烟碱类似, 但略有差异。此外, T1、T2 处理中、上部烟叶钾含量显著高于 CK, 增幅分别为 10.97%~21.17%和 8.39%~22.63%。不同部

表 4 不同处理对烤烟经济性状的影响

Table 4 Effects of different treatments on economic properties of flue-cured tobacco

处理 Treatment	单叶重 Single leaf weight/(g·piece ⁻¹)	有效叶数 Effective leaf number	产量 Yield/ (kg·hm ²)	产值 Output value/(Yuan·hm ²)	上等烟 Percent of high grade leaves/%	均价 Average price/(Yuan·kg ⁻¹)
T1	8.98ab	19.33ab	2390.25ab	47559.0ab	14.78ab	19.90ab
T2	9.08a	20.33a	2464.80a	52027.5a	18.55a	21.11a
CK	8.65b	18.67b	2023.20b	33733.5b	10.72b	16.67b

表 5 不同处理对烤后烟叶外观质量的影响

Table 5 Effects of different treatments on visual appearance of flue-cured tobacco

处理 Treatment	等级 Grade	外观质量 Visual appearance								
		部位 Part	颜色 Color	成熟度 Maturity	结构 Structure	身份 Body	油分 Oil	色度 Color intensity	总分 Total Score	
T1	X2F	5.50a	7.70ab	7.90a	7.97a	5.87b	4.17ab	4.13a	43.23a	
T2		5.50a	7.90a	7.93a	7.93a	5.97b	3.97b	4.17a	43.37a	
CK		5.63a	7.63b	7.60b	7.93a	6.20a	4.50a	4.17a	43.67a	
T1	C3F	9.27a	7.57b	7.56b	8.23a	8.60a	6.23b	5.40a	52.87b	
T2		9.17ab	8.17a	8.00a	8.06a	8.60a	6.43a	5.57a	54.00a	
CK		8.83b	8.03a	7.90a	8.07a	8.27b	6.27b	5.43a	52.80b	
T1	B2F	7.27a	7.80a	7.70a	6.40a	6.00a	6.33a	5.60a	47.10a	
T2		7.07a	7.87a	7.10b	5.57b	5.90ab	6.53a	5.63a	45.67ab	
CK		7.13a	7.77a	7.17b	5.63b	5.53b	6.53a	5.67a	45.43b	

表6 不同处理对烤后烟叶内在化学成分的影响

Table 6 Effects of different treatments on main chemical composition in tobacco leaves

处理	等级	总糖	还原糖	总烟碱	总氮	钾	糖碱比
Treatment	Grade	Total sugar/%	Reducing sugar/%	Total nicotine/%	Total nitrogen/%	Potassium/%	Sugar nicotine ratio
T1	X2F	21.39a	19.08a	2.12b	1.60b	2.16a	10.14a
T2		20.47a	17.10a	2.37ab	1.65ab	2.04a	8.69b
CK		21.21a	18.18a	2.64a	1.87a	2.02a	8.08b
T1	C3F	23.26a	20.63a	3.03a	1.83a	1.72a	7.67a
T2		23.23a	19.02a	2.80b	1.74b	1.68a	8.29a
CK		23.50a	20.61a	2.86b	1.73b	1.55b	8.21a
T1	B2F	24.15a	19.17ab	3.45a	1.92a	1.66a	7.00b
T2		21.49b	17.33b	3.12ab	1.94a	1.68a	6.76b
CK		24.39a	20.33a	2.90b	1.72b	1.37b	8.41a

位的糖碱比,下部烟叶 T1 处理显著高于其他处理;中部烟叶处理间差异不显著;上部烟叶 CK 最高,与其他处理相比差异显著。

3 讨论

3.1 秸秆还田对烟株叶片发育及产量的影响

大量研究表明,适当添加秸秆生物炭能够促进作物生长、提高作物产量,但不同用量生物炭对作物产量的影响存在较大差异^[14,19-20]。张继旭等^[19]在湖北恩施通过盆栽试验研究了不同生物炭施用量对烤烟生长发育的影响,认为低量生物炭添加(生物炭占盆栽土壤比例为 0.2%~1.0%)能够促进不同部位烟株叶片的发育,高量的生物炭添加则明显抑制烟株叶片的发育。而赵殿峰等^[20]研究则认为,土壤中添加生物炭后抑制了团棵期前烤烟叶片的发育,但进入旺长期后,低量生物炭添加促进了烤烟叶片的发育和干物质的积累,而高量生物炭添加烟株表现则完全相反。在本试验中,生物炭处理能够促进不同时期烟株叶片的发育(栽后 20 d 除外),并提高烤烟叶片的单叶重,增加有效叶片数,从而提高烟叶产量。这可能与生物炭用量较低,添加到土壤中后能够迅速增加土壤有机碳含量,提高土壤养分的有效性有关^[14]。

3.2 秸秆还田对烟叶品质的影响

烟叶总糖和还原糖含量能够影响烟气醇和度、吃味,适宜的总糖与还原糖含量能够提升烟叶的香吃味品质,并降低刺激性。在本研究中,生物炭处理不同部位烟叶总糖、还原糖含量均低于其他处理,

且含量更接近 18%~22%和 16%~20%的适宜值,以上部叶片表现最为明显。叶协锋等^[21]在陕西汉中 3 个试验地点的研究也进一步证实了这个结论,他认为施用花生壳生物物质炭后,中、上部烟叶的总糖、还原糖含量明显降低,且随着生物炭用量的增加,总糖、还原糖表现出明显的下降趋势,其原因可能与较高的有机碳输入影响了烟株的碳代谢有关。

烟碱和总氮含量是衡量烟叶内在质量和感官质量的重要因子。在一定范围内,增加烟碱和总氮含量有助于烟叶香气的提升,但其含量过高时也增加了烟叶的刺激性^[22]。在本研究中,与常规施肥相比,生物炭处理下、中部叶片中总氮及烟碱含量均无显著差异,而秸秆还田处理总氮、烟碱含量表现为下部叶片显著降低,中、上部叶片显著升高。这与熊茜等^[23]在云南楚雄开展的小麦秸秆还田试验获取的研究结果类似。这是因为小麦秸秆富含大量纤维素、木质素等难降解组分,C/N 比高^[24],降解初期土壤中的微生物会与烟苗争夺土壤中的氮,并影响了烟株下部烟叶对氮素的吸收和转化;随着小麦秸秆不断腐解,烟株发育进入中、后期后,秸秆内富含的氮素养分大量释放到土壤中,并被中、上部烟叶所吸收利用。秸秆粉碎后直接还田,中、上部叶片的烟碱含量明显增加,特别是上部叶片烟碱含量达到 3.45%,远高于 2.2%~2.8%的适宜范围,这不利于烟叶的香、吃味品质的提高。因此,相比秸秆还田处理,生物炭处理能更好调节烟碱含量。烟草是一种“喜钾”作物,适宜的钾含量能够改善烟叶的燃烧性,提高烟叶品质^[25]。在本研究中,相比常规施肥,秸秆还田及生物炭处理中、上部烟叶含

钾量均明显提高。李正风等^[26]、牛玉德等^[27]也得到类似结论。秸秆还田处理烟叶钾含量的提高与前面讨论的秸秆腐解后期养分的释放有关；而生物炭处理烟叶钾含量的提高一方面是因为其本身携带一定的矿质养分，输入土壤后能够改善烟田土壤肥力条件；另一方面是因为生物炭含有大量的官能团，还田后，可以改善土壤的缓冲性能，减少养分的淋失，并延缓肥料在土壤中的释放^[23,28]，有利于调节养分在叶片中的分配。

4 结 论

小麦秸秆还田前期制约、后期促进叶片发育，烟叶产量、产值增加不明显；能够提高上部烟叶外观质量总分，增加成熟度、结构、身份得分，但对中部烟叶影响较小；能够提高中、上部烟叶钾含量，但叶片烟碱含量偏高。相比小麦秸秆还田，施用生物炭更有利于促进烤烟叶片发育，增加单叶重和有效叶数，并提高烟叶产量和经济效益；更有利于增加中部烟叶身份、油分得分，改善其外观质量；在提高烟叶钾含量的同时，能更好调节中、上部叶片烟碱含量，使烟叶内在化学成分更加协调。

参考文献

- [1] 李雪利, 叶协锋, 顾建国, 等. 土壤 C/N 比对烤烟碳氮代谢关键酶活性和烟叶品质影响的研究[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(3): 32-36.
LI X L, YE X F, GU J G, et al. Effect of soil C/N ratio on activity of key enzymes involved in carbon and nitrogen metabolism and quality of flue-cured tobacco leaves[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(3): 32-36.
- [2] 冯婷婷, 王梦雅, 符云鹏, 等. 不同有机物料对土壤和烟叶主要质量指标的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 22-27, 33.
FENG T T, WANG M Y, FU Y P, et al. Effect of different organic materials on the main quality indicators of soil and tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5): 22-27, 33.
- [3] 尚志强, 张晓海, 邵岩, 等. 秸秆还田和覆盖对烤烟生长发育及品质的影响[J]. 烟草科技, 2006(1): 50-53.
SHANG Z Q, ZHANG X H, SHAO Y, et al. Effects of straw back-applying and mulching on flue-cured tobacco growth, development and quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2006(1): 50-53.
- [4] TAN D S, JIN J Y, HUANG S W, et al. Effect of

- long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(2): 200-207.
- [5] 邵云, 马守田, 李学梅, 等. 秸秆还田方式对麦田土壤碳、氮、水动态及小麦产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(11): 1545-1551.
SHAO Y, MA S T, LI X M, et al. Effect of different straw returning methods on soil carbon, nitrogen, water dynamics and yield of wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2014, 34(11): 1545-1551.
- [6] 邱学礼, 郑波, 鲁耀, 等. 玉米秸秆碳氮比调控施用对烟叶氮磷钾吸收的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 125-129.
QIU X L, ZHENG B, LU Y, et al. Effects of C/N regulated corn straw application on nitrogen, phosphorous and potassium uptake in tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21(8): 125-129.
- [7] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 不同碳氮比肥料组合对肥料氮生物固定、释放及小麦生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 37-40.
TANG Y X, MENG C X, JIA S L, et al. Effects of different C/N combinations of fertilizers on biological fixation and release of nitrogen fertilizer and wheat growth[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(2): 37-40.
- [8] 马超, 周静, 郑学博, 等. 秸秆促腐还田对土壤养分和小麦产量的影响[J]. 土壤, 2012, 44(1): 30-35.
MA C, ZHOU J, ZHENG X B, et al. Effects of returning rice straw into field on soil nutrients and wheat yields under promoting decay condition[J]. Soils, 2012, 44(1): 30-35.
- [9] BRUUN E W, HAUGGAARD-Nielsen H, IBRAHIM N, et al. Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil [J]. Biomass & Bioenergy, 2011, 35(3): 1182-1189.
- [10] MUKHERJEE A, ZIMMERMAN A R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures [J]. Geoderma, 2013, 193: 122-130.
- [11] NOVAK J M, BUSSCHER W J, LAIRD D L, et al. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil[J]. Soil Science, 2009, 174(2): 105-112.
- [12] 房彬, 李心清, 赵斌, 等. 生物炭对旱作农田土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1292-1297.
FANG B, LI X Q, ZHAO B, et al. Influence of biochar on soil physical and chemical properties and crop yields in rainfed field[J]. Ecology & Environmental Sciences, 2014, 23(8): 1292-1297.

- [13] 夏文斌,张旭辉,刘铭龙. 麦秆还田方式对旱地土壤综合温室效应的影响[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1010-1016.
XIA W B, ZHANG X H, LIU M L. Effects of wheat straw return ways on integrated global warming effect from dryland soil in North China Plain[J]. Soils, 2014, 46(6): 1010-1016.
- [14] 刘卉,周清明,刘勇军,等. 生物炭对烤烟生长及烟叶质量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(10): 73-81.
LIU H, ZHOU Q M, LIU Y J, et al. Effects of biochar on the growth of flue-cured tobacco and quality of tobacco leaf[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017, 19(10): 73-81.
- [15] 中国烟草总公司. GB 2635—1992 烤烟[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
China National Tobacco Corporation. GB 2635—1992, Flue-cured tobacco[S]. Beijing: China Standard Press, 1992.
- [16] 王芳,史改丽,张庆明,等. 烟叶外观质量与内在品质的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(31): 82-88.
WANG F, SHI G L, ZHANG Q M, et al. Correlation analysis of appearance characters and intrinsic quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(31): 82-88.
- [17] 赵殿峰. 不同生物炭施用量对烤烟土壤理化性状及烤烟生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
ZHAO D F. Effect of different biochar application amount on physicochemical properties of tobacco soil and tobacco growth[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [18] 王彦亭,谢剑平,李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
WANG Y T, XIE J P, LI Z H. Tobacco planting regionalization in China[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [19] 张继旭,张继光,张忠锋,等. 秸秆生物炭对烤烟生长发育、土壤有机碳及酶活性的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 16-21.
ZHANG J X, ZHANG J G, ZHANG Z F, et al. Effects of straw biochar on tobacco growth, soil organic carbon and soil enzyme activities[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5): 16-21.
- [20] 赵殿峰,徐静,罗璇,等. 生物炭对土壤养分、烤烟生长以及烟叶化学成分的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 85-92.
ZHAO D F, XU J, LUO X, et al. Effect of biochar on soil nutrients, growth and chemical composition of tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica. 2014, 23(3): 85-92.
- [21] 叶协锋,李志鹏,于晓娜,等. 生物炭用量对植烟土壤碳库及烤后烟叶质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(5): 33-41.
YE X F, LI Z P, YU X N, et al. Effect of biochar application rate on quality of flue-cured tobacco leaves and carbon pool in tobacco growing soil. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(5): 33-41.
- [22] 史宏志,张建勋. 烟草生物碱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
SHI H Z, ZHANG J X. Tobacco Alkaloids[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [23] 熊茜,查永丽,毛昆明,等. 小麦秸秆覆盖量对烤烟生长及烟叶产质量的影响[J]. 作物研究, 2012, 26(6): 649-653, 659.
XIONG Q, ZHA Y L, MAO K M, et al. Effects of wheat straw mulching amount on growth of flue-cured tobacco and yield and quality of tobacco[J]. Crop Research, 2012, 26(6): 649-653, 659.
- [24] 南雄雄,田霄鸿,张琳,等. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 626-633.
NAN X X, TIAN X H, ZHANG L, et al. Decomposition characteristics of maize and wheat straw and their effects on soil carbon and nitrogen contents[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3): 626-633.
- [25] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
Tobacco Research Institute of CAAS. China Tobacco Cultivation[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2005.
- [26] 李正风,张晓海,夏玉珍,等. 秸秆还田改良土壤提高烟叶品质的应用初探[J]. 农业网络信息, 2007(5): 237-240.
LI Z F, ZHANG X H, XIA Y Z, et al. Effect of different mulch ways for temperature and moisture of tobacco-cultivated soil and tobacco leaf quality[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007(5): 237-240.
- [27] 牛玉德,王国良,李金峰. 不同生物质炭施用量对汉中烤烟生长发育、产量产值和品质的影响[J]. 江西农业学报, 2016, 28(1): 60-63.
NIU Y D, WANG G L, LI J F. Effects of biomass carbon dose on growth, output and quality of flue-cured tobacco in Hanzhong City[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2016, 28(1): 60-63.
- [28] NOVAK J M, LIMA I, XING B S, et al. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand[J]. Annals of Environmental Science, 2009, 3: 195-206.