

育苗方式和基追肥比例对烤烟产质量的影响

李春亮, 李永育, 陈涛*, 林水良, 王似璇 (福建省烟草公司三明市烟草公司, 福建三明 365001)

摘要 对比不同育苗方式及基追肥比例对烤烟产质量的影响, 以期为进一步改进现行育苗方式和栽培技术提供数据支持和理论依据。结果表明, 湿润育苗方式能够获得较高的产量、产值和较好的原烟外观质量; 基追肥比例为 8:2 处理田间肥料的释放规律与烟株需肥特性更符合, 对叶片干物质的积累较为有利, 能够获得较高的产质量; 各处理内在化学成分协调性均有一定差异但无较优处理, 但减少基肥的施入会使得上部、下部烤后烟碱含量降低。因此, 建议在烟叶生产中采用湿润育苗的育苗方式, 以基追肥比例 8:2 为基础, 根据地方气候条件以及起垄时的土壤含水量进行适当调整, 从而获得较高的产质量。

关键词 烤烟; 育苗方式; 基追肥比例; 产质量

中图分类号 S572 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)21-0024-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.21.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Different Seeding Raising Manners and Dressing Ratio on the Yield and Quality of Flue-cured Tobacco

LI Chun-liang, LI Yong-yu, CHEN Tao et al (Sanming Tobacco Company of Fujian Province, Sanming, Fujian 365000)

Abstract A field experiment was conducted to compare the effects of different seedling raising manners and dressing ratio on the yield and quality of tobacco. It provided data support and theoretical basis for the improvement of seedling raising manners and cultivation techniques. The results showed that moist seeding manner could obtain higher yield, output value and better appearance quality of cured tobacco; The dressing ratio of 8 to 2 was favorable for the accumulation of dry matter in leaves, and obtained higher yield quality. There was no significant difference in chemical composition coordination between treatments, but the content of nicotine in upper and lower leaves decreased with the decrease of base fertilizer application. Therefore, it was suggested to adopt moist seeding manner and dressing ratio of 8 to 2 in tobacco production for higher yield and quality, and to adjust dressing ratio according to climate and soil moisture content.

Key words Flue-cured tobacco; Seeding raising manner; Dressing ratio; Yield and quality

育苗是烟叶生产的首要环节, 培育壮苗是优质烟叶生产的基础^[1-3], 是稳定烟叶品质、提高中上等烟叶比例、增加烟农收入的保障, 它直接影响烟株生长发育、烟叶品质及产质量^[4-5]。现阶段福建省主要的育苗方式有湿润育苗和漂浮育苗, 不同育苗方式各有优缺点^[6]。此外科学合理地肥料供应同样是烤烟优质、低耗的主要栽培技术之一, 肥料的合理分配影响着烟株营养状况, 还影响着烟叶品质^[7-8]。近年来的研究发现, 不同的基追肥比例对烟株的生长发育有显著的作用, 基追肥比例的合理分配能够合理地调控烟株营养状况并改善烟叶品质。鉴于此, 笔者研究了不同育苗方式和基追肥比例两因素试验, 进一步分析因素之间的交互作用对烟株有效叶片数和产质量的影响, 以期为进一步改进和彰显翠碧烟叶风格特征的育苗方式和施肥配套技术提供数据支持和理论依据。

1 材料与方

1.1 试验地概况 试验于 2017 年在三明市泰宁县朱口镇音山村进行。试验田为砂壤土, 土壤肥力中等且均匀一致, 土壤 pH 5.76、有机质含量 31.96 g/kg、全氮 1.59 g/kg、全磷 0.58 g/kg、全钾 15.91 g/kg、碱解氮 143.82 mg/kg、有效磷 26.58 mg/kg、有效钾 190.64 mg/kg、CEC 值 109.17 mmol/kg。

1.2 试验材料 供试烤烟品种“翠碧一号”, 供试肥料为烟草专用肥、硫酸钾、氧化镁、钙镁磷和硝酸钾, 种子和肥料均

由三明市烟草公司提供。

1.3 试验方法 对育苗方式(A)和基追肥比例(B)进行二因素随机区组设计。育苗方式设 2 个水平, 分为湿润育苗(A1)和漂浮育苗(A2); 基追肥比例设 2 个水平, 分为基追比 8:2(B1)和 4:6(B2), 随机区组设计为 A1B1、A1B2、A2B1、A2B2 共 4 个处理, 试验设 3 次重复, 每小区 100 株, 行株距为 120 cm×50 cm。基肥采用饼肥、专用肥、硫酸钾和氧化镁, 钙镁磷与火烧土拌匀后作穴肥施用, 硝酸钾作追肥在移栽后 35 d 内分 3 次施用, 其余田间管理与优质烟叶生产基本一致。

1.4 观测项目及方法 观察比较各处理烟株生育期; 各处理分别选取具有代表性的烟株 5 株, 在团棵期和采烤前分别测定其株高、茎围、节距、有效叶片数、叶片大小等农艺性状, 测定方法参照 YC/T 142—1998 行业标准; 观测单叶重, 采烤前对各小区选取 30 株有代表性烟株进行挂牌, 记录采烤的叶位、片数及重量; 烟株开始发病后调查主要病害发病情况, 计算病情指数, 调查和计算方法按 GB/T 23222—2008 国家标准; 采烤后统计各处理烟叶产质量, 并取 X2F、C3F、B2F 烟叶采用近红外光谱仪测定烟叶内在化学成分^[9-10]。

1.5 统计分析方法 采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 11.5 软件进行数据分析处理, 采用 LSD 法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对烟株生育期的影响 各处理主要生育期表现如表 1 所示, 漂浮育苗处理烟苗播种至出苗、播种至成苗时间较湿润育苗处理推迟 2 d; 移栽至现蕾时间各处理差异较小; 而脚叶成熟时间各处理间有一定的差异, A1B1 处理较 A1B2 处理推迟 4 d, A2B1 处理较 A2B2 处理推迟 6 d, 基追肥比例相同的处理时间相近。A2B2 处理成熟天数最长, A1B2

基金项目 中国烟草总公司福建省公司项目“福建上下部烟叶深化应用研究”(项目号: KJRW-201704; 子合同项目号: 201735000024151)。

作者简介 李春亮(1984—), 男, 福建漳平人, 助理农艺师, 从事烟叶生产管理和技术推广研究。*通信作者, 农艺师, 从事烟叶生产管理和技术推广研究。

收稿日期 2019-05-08

处理最短; A1B1、A2B1 处理大田生育期分别较 A1B2、A2B2 处理长 5 d, 说明育苗方式对烟苗生育期的影响主要在苗期,

不同育苗方式对烟苗素质的影响较大, 基追肥比例对烟株大田生育期的影响较明显。

表 1 不同处理对烟株生育期的影响

Table 1 Effects of different treatments on the growth period of tobacco plants

处理编号 Treatment code	成熟天数 Mature days	大田生育期 Field growth period	播种—出苗 Sowing-seedling emergence	播种—成苗 Sowing-seedling formation	移栽—现蕾 Transplanting-budding	移栽—脚叶成熟 Transplanting-bottom leaves mature
A1B1	11	66	95	114	33	147
A1B2	11	66	94	110	32	142
A2B1	13	68	96	115	34	149
A2B2	13	68	95	109	35	144

2.2 不同处理对烤烟生物学性状的影响 由表 2 可知, 不同处理在株型、叶形、叶色、茎叶角度、主脉粗细、田间整齐度和成熟特性方面均无明显的差别。但处理间生长势有一定差异, 其中 A1B1、A1B2 处理田间生长势较强, 而 A2B1、A2B2

处理田间生长势较弱, 这可能是由于漂浮育苗所育烟苗苗期长势较弱, 导致其田间长势比湿润育苗处理弱。因此, 不同育苗方式对烟株的田间长势有较大的影响。

表 2 不同处理对烤烟植物学性状的影响

Table 2 Effects of different treatments on the botanical characters of flue-cured tobaccos

处理编号 Treatment code	株型 Plant shape	叶形 Leaf shape	叶色 Leaf color	茎叶角度 Cauline leaf angle	主脉粗细 Main vein thickness	田间整齐度 Field uniformity	成熟特性 Mature features	生长势 Growth vigor		
								栽后 40 d 40 d after transplanting	栽后 60 d 60 d after transplanting	栽后 80 d 80 d after transplanting
A1B1	塔形	长椭圆形	绿	小	中	整齐	耐熟	强	强	强
A1B2	塔形	长椭圆形	绿	小	中	整齐	耐熟	强	强	强
A2B1	塔形	长椭圆形	绿	小	中	整齐	耐熟	较弱	弱	弱
A2B2	塔形	长椭圆形	绿	小	中	整齐	耐熟	较弱	较弱	较弱

2.3 不同处理对烤烟农艺性状的影响 由表 3 可知, A1B1、A2B1 处理有效株高显著高于 A1B2 处理, 有效叶数显著多于 A2B2 处理; 各处理间茎围和节距差异较小; A1B1、A2B1 处理

腰叶面积略大于 A1B2、A2B2 处理。A1B1、A2B1 处理烟株农艺性状优于 A1B2、A2B2 处理, 说明不同的基追肥比例对烟株农艺性状的影响较明显。

表 3 不同处理对烤烟主要农艺性状的影响

Table 3 Effects of different treatments on the main agronomic characters of flue-cured tobaccos

处理编号 Treatment code	有效株高 Effective plant height//cm	有效叶数 Effective leaf number//片	茎围 Stem firth cm	节距 Node distance cm	腰叶长 Waist leaf length//cm	腰叶宽 Waist leaf width cm
A1B1	84.83 aA	17.00 aA	10.33 abA	4.76 a	70.75 a	31.31 a
A1B2	69.33 bA	16.11 abAB	10.79 aA	4.16 a	69.76 a	29.57 a
A2B1	84.33 aA	16.44 aAB	10.41 abA	4.94 a	70.42 a	32.77 a
A2B2	75.67 abA	15.00 bB	10.02 bA	4.69 a	68.40 a	30.78 a

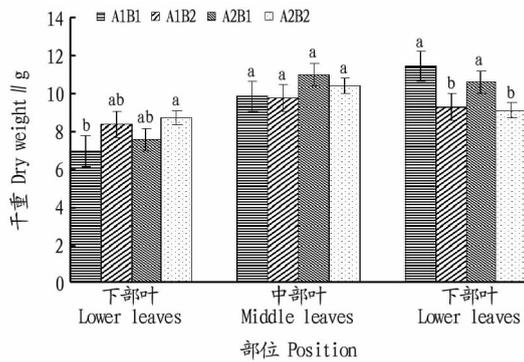
注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著; 同列不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level; different capital letters in the same column indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.4 不同处理对叶片各部位生物量的影响 由图 1 可知, 在相同基追肥比例不同育苗方式的对比中, A2B1、A2B2 处理中下叶位叶片干重分别高于 A1B1、A1B2 处理, 而 A1B1、A1B2 处理上叶位分别高于 A2B1、A2B2 处理。相同育苗方式不同基追肥比例的比较显示, A1B1、A2B1 处理中上叶位的叶片干重均高于 A1B2、A2B2 处理, 而 A1B2、A2B2 处理下叶位高于 A1B1、A2B1 处理。因此, 采用漂浮育苗方式对烟株中下部叶干物质积累较多, 采用湿润育苗方式上部叶干物质积累较多; 采用基追肥比为 8:2 的施肥方式能够促进烟株中上部叶的干物质积累, 基追肥比为 4:6 的施肥方式下部叶干物质积累较多。

2.5 不同处理对烤烟主要经济性状的影响 由表 4 可知, A2B2 处理的产量最低, 为 1 753.65 kg/hm², 均价各处理间差异不大。A1B2 处理产值最高, A1B1 处理次之, A2B2 处理最低。A1B2、A2B2 处理的上等烟和上中等烟比例分别高于 A1B1、A2B1 处理, 说明湿润育苗方式比漂浮育苗更能够获得较高的产量和产值。

2.6 不同处理对原烟外观质量的影响 由表 5 可知, 在相同基追肥比例不同育苗方式的对比中, A1B1、A1B2 处理烤后烟质量分别高于 A2B1、A2B2 处理, 特别在色度方面差异较大; 在相同育苗方式不同基追肥比例的对比中, A1B1、A1B2 处理间烤后烟差异主要体现在身份, A2B1、A2B2 处理差异较



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases indicated significant differences at 0.05 level

图 1 不同处理对叶片各部位生物量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the biomass of different parts of leaves

大, A2B2 处理烤后烟质量略好于 A2B1 处理, 说明育苗方式对烤后烟原烟外观质量有一定的影响。

表 4 不同处理对烤烟经济性状的影响

Table 4 Effects of different treatments on the economic characters of flue-cured tobaccos

处理编号 Treatment code	产量 Yield kg/hm ²	均价 Average value 元/kg	产值 Output value 元/hm ²	上等烟比例 High-class tobacco proportion//%	上中等烟比例 High-and middle-class tobacco proportion//%	单叶重 Single leaf weight g
A1B1	1 926.30 a	30.40 a	58 078.35 a	57.58 a	86.96 ab	8.13 a
A1B2	1 970.25 a	29.89 a	58 964.10 a	58.93 a	88.23 ab	8.20 a
A2B1	1 951.95 a	29.21 a	56 828.40 a	54.77 a	84.12 b	8.47 a
A2B2	1 753.65 a	30.56 a	53 622.45 a	56.60 a	89.29 a	8.40 a

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

表 5 不同处理对原烟外观质量的影响

Table 5 Effects of different treatments on the appearance quality of crude tobacco

处理编号 Treatment code	成熟度 Mature degree	颜色 Color	色度 Chromacity	油分 Oil content	叶片结构 Leaf structure	身份 Status
A1B1	成熟	桔黄	中	有	疏松	稍薄
A1B2	成熟	桔黄	中	有	疏松	稍厚
A2B1	尚熟	桔黄	淡	有	尚疏松	稍厚
A2B2	成熟	桔黄	淡	稍有	疏松	稍薄

3 讨论

(1) 采用漂浮育苗方式, 移栽后前期生长较慢, 返苗期较长, 会略微推迟烟苗出苗时间, 且田间生长势较弱, 不利中棵型烟株培育, 这与危阜斌等^[11]研究得出的观点一致。与漂浮育苗相比, 湿润育苗所育烟苗具有根系生长速度快、返苗期短等优点, 与孙浩宇等^[2]的研究结果基本一致。基追肥比例 8:2 的施肥方案可延长烟株大田生育期, 利于烟叶内含物积累, 进而提高烟叶产质量。

(2) 基追肥比例 8:2 的处理相对 4:6 处理烟株在农艺性状上进行比较, 其有效株高更高、有效叶片数更多, 中上部叶干物质积累量更多, 基追肥比例为 8:2 处理田间肥料的释放规律与烟株需肥特性更符合。段凤云等^[8]研究表明, 烤烟干

2.7 不同处理对烤后烟叶内在化学成分的影响 由表 6 可知, 在相同基追肥比例不同育苗方式的对比显示, A1B1、A1B2 处理烤后烟 B2F 烟碱含量比 A2B1、A2B2 处理高, C3F 烟碱含量以 A1B1、A2B2 处理较低, A2B1、A2B2 处理氮碱比较 A1B1、A1B2 处理略微升高而两糖比略微降低。相同育苗方式不同基追肥比例的对比显示, A1B1 处理相对于 A1B2 处理, A2B1 处理相对于 A2B2 处理的 B2F、X2F 烟碱含量降低, X2F 糖含量升高, 各部位总氮含量降低, C3F 钾含量升高, X2F 钾含量略微降低。

从烤后烟化学成分的协调性来看, 处理 A1B1 烤后烟 C3F 氯含量明显偏低, X2F 糖碱比略高, 各部位两糖比适宜; 处理 A1B2 烤后烟化学成分较协调, B2F 糖碱比较高, 各部位内在化学成分差异明显; 处理 A2B1 烤后烟烟碱含量适宜, C3F 氯含量较低, 总体糖碱比适宜, 两糖比偏低; 处理 A2B2 烤后烟烟碱含量较低, 钾含量较高, B2F 糖碱比较高, 钾氯比高于其他各处理, 两糖比稍低。

物质累积主要集中在移栽后 30~60 d; 在同等施肥量条件下, 随着追肥比例提高后期干物质累积强度和累积量越大。对 2 种不同育苗方式进行比较, 结果显示采用漂浮育苗烟株有效叶片数较少, 下部叶较重但中部叶较轻。

(3) 采用湿润育苗方式能够获得较高的产量和产值, 原烟外观质量也好于漂浮育苗烤后烟。湿润育苗方式从烟苗素质到烟叶产量、产值及原烟外观质量各项指标均优于漂浮育苗, 这与陈志敏等^[12]的研究结果基本一致。不同基追肥比对于湿润育苗经济性无显著的影响, 但漂浮育苗烟株基追肥比为 4:6 处理的产量较低, 原烟外观质量较差, 这可能是烟苗本身素质和田间肥料释放共同的影响。

(4) 对不同处理烤后烟化学成分进行分析, 结果显示采用湿润育苗处理烟株上部叶烟碱含量较高, 在总量不变的前提下减少基肥的施入会使得上部、下部烤后烟烟碱含量降低。各处理内在化学成分协调性均有一定差异, 但无较优处理。

4 小结

漂浮育苗方式在一定程度上影响烟株田间生长发育和烤后烟质量; 而湿润育苗方式能够获得较高的产量、产值和较好的原烟外观质量, 且通过减少基肥的施入能够降低上、下部位烤后烟烟碱含量。因此, 湿润育苗方式在一定程度上优于漂浮育苗方式。

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 the inner chemical component of flue-cured tobacco leaves

处理编号 Treatment code	等级 Grade	烟碱 Nicotine %	总糖 Total sugar %	还原糖 Reducing sugar %	总氮 Total N %	钾 K %	氯 Cl %	糖碱比 Sugar- alkali ratio	氮碱比 N-alkali ratio	钾氯比 K-Cl ratio	两糖比 Two sugar ratio
A1B1	B2F	3.18	26.87	23.86	2.09	2.10	0.14	7.50	0.66	15.00	0.89
	C3F	1.84	35.73	29.06	1.39	2.40	0.02	15.79	0.76	120.00	0.81
	X2F	1.59	32.05	26.39	1.55	2.90	0.18	16.60	0.97	16.11	0.82
A1B2	B2F	2.92	26.92	22.57	1.69	1.68	0.12	7.73	0.58	14.00	0.84
	C3F	2.08	31.27	25.22	1.40	2.49	0.15	12.13	0.67	16.60	0.81
	X2F	1.40	35.66	26.41	1.36	2.82	0.15	18.86	0.97	18.80	0.74
A2B1	B2F	2.84	25.02	19.46	2.07	2.75	0.15	6.85	0.73	18.33	0.78
	C3F	2.33	33.16	25.84	1.69	2.57	0.05	11.09	0.73	51.40	0.78
	X2F	1.79	29.86	22.64	1.70	3.19	0.23	12.65	0.95	13.87	0.76
A2B2	B2F	2.62	27.05	21.54	1.75	2.41	0.07	8.22	0.67	34.43	0.80
	C3F	1.86	33.95	26.58	1.42	2.30	0.05	14.29	0.76	46.00	0.78
	X2F	1.34	34.72	26.79	1.37	3.00	0.13	19.99	1.02	23.08	0.77

基追肥比例为 8:2 处理田间肥料的释放规律与烟株需肥特性更符合,更能促进烟株田间生长发育。具体而言,在不同的年份降水条件有差异,建议基追肥配比仍要根据起垄时的田间水分多少而定,并配合后期以水调肥的技术措施,确保肥料充分利用和烟株正常生长,从而进一步提高烤后烟在化学成分分配的协调性。

综上所述,建议在烟叶生产中采用湿润育苗的方式,而基追肥比例根据地方气候条件以及起垄时的田间含水量而定,从而有效促进烟株田间生长发育,加快烟株中部叶干物质积累,控制烟碱含量,获得较高的产质量。

参考文献

- [1] 徐玮,杨茂凡,方保,等. 不同育苗方式对烟草苗期生长发育的影响[J]. 现代农业科技,2015(15):15-16.
- [2] 刘浩宇,马学芳,周朝荣. 不同育苗方式对培育烤烟壮苗的影响[J]. 农业开发与装备,2014(9):87-88.

- [3] 李先锋,艾绥龙,牛玉德. 烤烟直播漂浮育苗综合配套技术研究[J]. 吉林农业,2010(12):93-94
- [4] 王德勋,单沛祥,段凤云. 不同育苗方式对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 现代农业科技,2011(22):73-74.
- [5] 杨剑辉. 广昌晒烟优质高产的相关技术及其效果研究[D]. 南昌:江西农业大学,2016.
- [6] 罗子. 烤烟不同育苗技术及烟苗素质的测定[J/OL]. [2019-03-05]. <http://wenku.baidu.com/view/1ae41ae0998fcc22bcd10dd7>.
- [7] 胡国松,郑伟,王震东,等. 烤烟营养原理[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [8] 段凤云,周廷中,杨红武,等. 基追肥比例对烤烟干物质累积和碳氮代谢的影响[J]. 昆明学院学报,2008,30(4):46-49.
- [9] 张珊珊,王雪仁,张瀛,等. 施用不同种类有机肥对烤烟生长发育的影响[J]. 安徽农学通报,2016,22(16):40-41,89.
- [10] 张珊珊,林水良,李春亮,等. 施肥后不同覆土方式对烤烟生长发育的影响[J]. 安徽农学通报,2017,23(21):46-49.
- [11] 危阜斌,徐茜,陈志厚,等. 不同育苗方式对烟苗素质及烟叶品质的影响[J]. 贵州农业科学,2017,45(10):56-60.
- [12] 陈志敏,向世平,戴超. 烤烟不同育苗方式的苗情与成本对比分析[J]. 湖南农业科学,2015(1):23-25,28.

(上接第 13 页)

- [15] 安梅,董丽,张磊,等. 不同种类生物炭对土壤重金属镉铅形态分布的影响[J]. 农业环境科学学报,2018,37(5):892-898.
- [16] 袁金华,徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报,2011,20(4):779-785.
- [17] 周贵宇,姜慧敏,杨俊诚,等. 几种有机物料对设施菜田土壤 Cd、Pb 生物有效性的影响[J]. 环境科学,2016,37(10):4011-4019.
- [18] 吴琼,赵同科,邹国元,等. 北京东南郊农田土壤重金属含量与环境质量评价[J]. 中国土壤与肥料,2016(1):7-12.
- [19] 周金波,汪峰,金树权,等. 不同材料生物炭对镉污染土壤修复和青菜镉吸收的影响[J]. 浙江农业科学,2017,58(9):1559-1560,1564.
- [20] 侯艳伟,池海峰,毕丽君. 生物炭施用对矿区污染农田土壤上油菜生长和重金属富集的影响[J]. 生态环境学报,2014,23(6):1057-1063.
- [21] 王丹丹,林静雯,丁海涛,等. 牛粪生物炭对重金属镉污染土壤的钝化修复研究[J]. 环境工程,2016,34(12):183-187.
- [22] 王红,夏雯,卢平,等. 生物炭对土壤中重金属铅和锌的吸附特性[J]. 环境科学,2017,38(9):3944-3952.
- [23] 周强,李嘉雨,黄兆琴,等. 培养条件下生物炭对土壤锌的吸附作用[J]. 土壤通报,2017,48(4):969-974.
- [24] 秦婷婷,王兆伟,朱俊民,等. 花椰菜基生物炭对水中 Pb(II) 的吸附性能[J]. 环境科学学报,2017,37(8):2977-2988.
- [25] HOUBEN D, EVRARD L, SONNET P. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Biomass & bioenergy, 2013, 57(11):196-204.

- [26] FELLET G, MARMIROLI M, MARCHIOLI L. Elements uptake by metal accumulator species grown on mine tailings amended with three types of biochar[J]. Science of the total environment, 2014, 468/469:598-608.
- [27] 马建伟,王慧,罗启仕,等. 电动力学-新型竹炭联合作用下土壤镉的迁移吸附及其机理[J]. 环境科学,2007,28(8):1829-1834.
- [28] 张芝腾,范禹博,徐笑天,等. 鸡粪生物炭对土壤铜和锌形态及植物吸收的影响[J]. 农业环境科学学报,2018,37(11):2514-2521.
- [29] 唐行灿,张民. 生物炭修复污染土壤的研究进展[J]. 环境科学导刊,2014,33(1):17-26.
- [30] 董双快,徐万里,吴福飞,等. 铁改性生物炭促进土壤砷形态转化抑制植物吸收[J]. 农业工程学报,2016,32(15):204-212.
- [31] 高瑞丽,唐茂,付庆灵,等. 生物炭、蒙脱石及其混合添加对复合污染土壤中重金属形态的影响[J]. 环境科学,2017,38(1):361-367.
- [32] 杨兰,李冰,王昌全,等. 改性生物炭材料对稻田原状和外源镉污染土壤钝化效应[J]. 环境科学,2016,37(9):3562-3574.
- [33] 于志红,黄一帆,廉菲,等. 生物炭-锰氧化物复合材料吸附砷(III)的性能研究[J]. 农业环境科学学报,2015,34(1):155-161.
- [34] 吴萍萍,李录久,李敏. 生物炭负载铁前后对复合污染土壤中 Cd、Cu、As 淋失和形态转化的影响研究[J]. 环境科学学报,2017,37(10):3959-3967.
- [35] 牛晓丛,何益,金晓丹,等. 酵素渣和秸秆生物炭钝化修复重金属污染土壤[J]. 环境工程,2018,36(10):118-123.
- [36] 朱司航,赵晶晶,楚龙港,等. 纳米羟基磷灰石改性生物炭对铜的吸附性能研究[J]. 农业环境科学学报,2017,36(10):2092-2098.
- [37] 于志红,谢雨坤,刘爽,等. 生物炭-锰氧化物复合材料对红壤吸附铜特性的影响[J]. 生态环境学报,2014,23(5):897-903.