

烤烟铅镉含量及其与环境的关系^①

潘文杰^{1,2}, 姜超英², 唐远驹², 李继新², 黄建国^{1*}

(1 西南大学资源与环境学院, 重庆 400716; 2 贵州省烟草科学研究所, 贵阳 550003)

摘要: 在我国南北主产烟区的 7 省 11 县采用统一栽培模式, 研究了烤烟 Pb、Cd 含量及其与环境的关系。结果表明, 在烤烟各器官中, Pb 含量大于 Cd; 并且含 Pb 量为根系>叶片>茎 $\approx$ 烟杈(烟花); 含 Cd 量为叶片>茎 $\approx$ 烟杈(烟花)>根。烟叶 Pb、Cd 含量为下部叶>中部叶>上部叶。在烟株生长发育过程中, 烟叶 Pb、Cd 含量逐渐降低, 累积量呈“S”形曲线增加, 积累速率呈单峰曲线变化。就地域而言, 南方烟叶的 Pb、Cd 含量高于北方。此外, 烟叶 Pb、Cd 含量的变异系数较大, 说明环境条件影响烟叶中的 Pb、Cd 含量。在气象因素中, 烟叶 Pb、Cd 含量与日照时数呈显著负相关, 与降雨量(或相对湿度)呈显著正相关。在烤烟生育期内, 南方日照时间短、雨量丰富、相对湿度较大, 这些气象因素可能导致南方烟叶 Pb、Cd 含量高于北方。在土壤因素中, 烟叶 Pb、Cd 含量与土壤交换性 Pb、Cd, 有机质和有效 P 含量呈正相关, 与土壤 pH 值呈负相关。因此, 在烤烟栽培过程中, 选择 Pb、Cd 含量低的土壤, 适量施用石灰, 避免大量施用有机肥和重金属污染的 P 肥可能是降低烟叶过量积累 Pb、Cd 的有效措施。

关键词: 烤烟; 铅; 镉; 气候; 土壤

中图分类号: S572; X53

烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)是我国重要的经济作物之一, 南北均有种植。随着吸烟与健康运动的发展, 烤烟的无公害生产日益受到人们的重视。在吸烟过程中, 烟叶中的 Pb、Cd 随烟气进入人体肺部, 长期残留于体内, 危害人体健康^[1]; 另一方面, Pb、Cd 过量积累抑制烟株的生长发育^[2], 降低烟叶的产量品质。因此, 有效降低烟叶中的 Pb、Cd 含量已成为烟草栽培领域研究的重要内容之一。

研究表明, 土壤中 Pb、Cd 含量及其化学形态影响 Pb、Cd 的生物有效性, 进而影响它们在植物体内的积累分布^[3-5]。土壤中 Pb、Cd 的生物有效性同样受所处的地形环境^[6]、元素交互^[7-8]和土壤理化特征^[9-11]的影响, 此外, 气候条件也是影响植物吸收 Pb、Cd 的重要因素^[1, 12]。但是, 在全国不同生态区域内, 采用统一试验方法系统地研究植物对 Pb、Cd 的积累与分布规律以及气候和土壤环境对它们的影响报道不多, 以烤烟为对象的研究尚未进行。

本研究在我国南北不同生态条件的烟区, 选择 7 个主产烟省的 11 个县为试验点, 统一栽培管理模式, 研究了烤烟对 Pb、Cd 的积累分布规律以及与生态环境的关系, 目的在于为我国烤烟生产的合理布局, 生产 Pb、Cd 含量低的烟叶提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在我国南北 7 个主产烟省的 11 个县进行, 各试验点的土壤和气象数据见表 1 和表 2。其中, 辽宁(开原)、山东(安丘、沂水)、河南(临颖、郟县)3 省试验点分布于纬度 33.48°以上, 属我国北方烟区; 贵州(湄潭)、四川(会东、宁南)、福建(将乐、永定)和云南(文山)的试验点纬度低于 27.5°, 属我国南方烟区。在上述各县各选择一块典型、且具有代表性的植烟土壤作为试验烟地, 统一栽培模式: 品种为 K326(*Nicotiana tabacum* L.), 种植密度 16530 株/hm², 施用纯 N 80 kg/hm², N:P₂O₅:K₂O = 1:1.5:3, 追肥与基肥的比例为 3:7。根据当地气候条件, 适时起垄移栽, 按优质烟栽培技术统一模式进行田间管理与成熟采收。试验地面积均为 667 m²。

1.2 测定项目及方法

烟苗移栽前, 采集试验地耕作层 0~20 cm 的土壤样品备测有关项目。土壤 Pb、Cd 含量采用王水-高氯酸消煮-原子吸收光谱法(石墨炉)测定^[5], 并用国家环保总局 Cd、Pb 标准样品进行校正。土壤其他有关项目采用常规方法分析^[13]。

①基金项目: 上海烟草(集团)公司项目(科 95104)资助。

* 通讯作者

作者简介: 潘文杰(1972—), 男, 四川三台人, 博士研究生, 主要从事土壤-植物营养研究。E-mail: wenjiepan@hotmail.com

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of experimental soils

地点	样本数	pH	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	交换态 Pb (mg/kg)	交换态 Cd (mg/kg)
辽宁 (开原)	15	5.33	2.13	108.40	40.10	114.05	1.46	0.058
山东 (安丘、沂水)	30	6.34	1.03	70.08	11.79	87.53	0.89	0.027
河南 (临颖、郟县)	30	8.49	0.95	91.03	8.73	103.70	7.48	0.029
贵州 (湄潭)	15	5.70	2.10	106.23	19.92	88.58	8.34	0.287
四川 (会东、宁南)	30	5.37	1.90	91.03	11.64	194.70	1.98	0.032
福建 (将乐、永定)	30	5.21	3.07	114.15	34.85	84.30	10.88	0.217
云南 (文山)	15	5.89	2.61	88.25	10.93	54.10	1.76	0.044

注：同省不同县的数据为两县平均，下表同。

表 2 烤烟移栽至采收结束期间各试点气象资料

Table 2 Meteorological data in the test sites in the growing season of flue-cured tobacco

地点	日照时数 (h)	平均气温 (°C)	降雨量 (mm)	相对湿度 (%)	10 cm 地温 (°C)
辽宁 (开原)	918.22	22.49	386.06	71.58	23.29
山东 (安丘、沂水)	856.94	23.86	419.92	75.80	25.73
河南 (临颖、郟县)	896.98	24.94	597.82	67.40	26.19
贵州 (湄潭)	432.60	22.83	779.10	83.67	24.20
四川 (会东、宁南)	624.10	22.55	751.20	78.33	20.45
福建 (将乐、永定)	370.13	20.30	864.38	82.44	21.25
云南 (文山)	613.57	22.73	593.63	78.35	25.70

烟苗移栽时和移栽后第 30、60、90、120 天分 5 次采集植株样品。在取样时，随机挖取 10 株烟苗（移栽当天的烟苗取 50 株），去离子水洗净，将根、茎、叶、烟杈（烟花）分别置于 100~105℃ 烘箱中杀青 5~10 min，然后 70~80℃ 烘干至恒重，先粉碎样品过 2 mm 筛，再均匀分取适量样品磨细过 0.1 mm 筛。用 HNO₃-HClO₄ 消化样品，原子吸收分光光度法测定 Pb、Cd 含量，同样用标样进行校正。

采用 SPSS 9.0 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 Pb、Cd 在烟株体内的分布

2.1.1 Pb 在烤烟各器官内，含 Pb 量根系 (平均 4.48 mg/kg) > 叶片 (平均 3.29 mg/kg) > 茎 (平均 2.32 mg/kg) ≈ 烟杈 (烟花) (平均 2.17 mg/kg) (表 3)，说明 Pb 主要在烤烟根部富集，类似在水稻、小麦等其他作物体内的分布状况^[3-7]。值得注意的是，烟叶含 Pb 量较高，居各器官含量的第二位，故在烤烟生产过程中很有必要降低其含量。

烤烟各器官含 Pb 量的变异系数较大，根系(73.63%) > 茎(68.52%) > 烟杈 (烟花) (61.19%) > 叶片(49.15%)。在品种相同、栽培模式一致的情况下，烟株各部位的含 Pb 量变异系数大，说明环境条件影响了烟株对 Pb 的吸收与分布。

表 3 Pb、Cd 在烤烟不同器官的含量 (mg/kg)

Table 3 Contents of Pb and Cd in different organs of flue-cured tobacco plants

烤烟部位	样品数	Pb			Cd		
		平均值	范围	变异系数 (%)	平均值	范围	变异系数 (%)
根	165	4.48	0.97 ~ 15.54	73.63	0.60	0.05 ~ 1.99	70.41
茎	165	2.32	0.27 ~ 9.35	68.52	0.76	0.04 ~ 2.94	77.23
叶	165	3.29	0.86 ~ 10.88	49.15	1.70	0.10 ~ 7.37	61.92
烟杈(烟花)	165	2.17	0.64 ~ 9.10	61.19	0.75	0.11 ~ 4.38	83.89

注：以上数据均为各时期的平均值，下表同。

2.1.2 Cd 在烤烟各器官中, 含 Cd 量叶片(平均 1.70 mg/kg)>茎(平均 0.76 mg/kg)≈烟杈(烟花) (平均 0.75 mg/kg) >根(平均 0.60 mg/kg)(表 3)。通常认为, Cd 进入植物体内后首先与根系内的蛋白质和糖类形成不溶性大分子物质而沉积在根部, 从而使根系含有较高的 Cd^[14], 但胡萝卜叶片的含 Cd 量则高于其他部位^[15], 看来 Cd 在烤烟体内的分布类似胡萝卜。

烟株各部位含 Cd 量的变异系数烟杈(烟花) (83.89%)>茎(77.23%)>根(70.41%)>叶片 (61.92%), 烟杈(烟花)最大, 叶片最小。由此可见, 烤烟叶片含 Cd 量相对于其他器官而言受环境因子的影响较小, 而受本身遗传特性的控制作用较大, 与 Pb 在烟叶中的积累特征相似。

2.2 烤烟叶片的 Pb、Cd 含量

叶片是烤烟的收获对象, 也是烟株最大的营养器官, 通常采收 18 ~ 22 片。11 个试验点烟叶的平均含

Pb 量 (3.29 mg/kg) 显著高于含 Cd 量 (1.70 mg/kg) (表 3)。

为了研究我国烤烟 Pb、Cd 含量的变化, 我们根据纬度差异和习惯, 把 7 省 11 个县分为南北两大烟区, 取栽后 90 天的烟叶样品进行分析测定, 结果表明: 南方烟叶的 Pb、Cd 含量和变幅显著高于北方(表 4)。且就整体而言, 烟区烟叶 Pb、Cd 含量变异系数高达 43.91% (Pb) 和 59.77% (Cd)。由于在烤烟生长期间, 我国各烟区的生态条件差异较大, 导致烟株对 Pb、Cd 的吸收不同。由此可见, 环境条件对烟叶 Pb、Cd 含量存在影响, 可以通过改良栽培技术、选择适宜的生态环境、合理布局烤烟种植来降低烤烟的 Pb、Cd 含量。

南北烟区的烟叶 Pb、Cd 含量均表现为下部叶>中部叶>上部叶, 说明 Pb、Cd 在烤烟体内的移动性较差。从 Pb、Cd 含量的角度考虑, 收获中、上部烟叶比较安全。

表 4 烤烟叶片的 Pb、Cd 含量 (mg/kg)

Table 4 Contents of Pb and Cd in flue-cured tobacco leaves

部位		样品数	Pb			Cd		
			平均值	范围	变异系数 (%)	平均值	范围	变异系数 (%)
北方烟叶	下部叶	75	3.36	1.50 ~ 5.70	29.06	1.33	0.22 ~ 2.24	51.94
	中部叶	75	2.99	1.23 ~ 4.96	34.04	1.02	0.11 ~ 2.17	63.45
	上部叶	75	2.57	2.07 ~ 3.47	17.35	0.66	0.10 ~ 1.49	75.54
	$\bar{X}$		3.05	1.23 ~ 5.70	29.56	1.05	0.10 ~ 2.24	63.28
南方烟叶	下部叶	90	4.77	2.00 ~ 10.88	46.95	3.28	1.48 ~ 7.37	45.30
	中部叶	90	3.24	1.11 ~ 10.70	53.25	2.08	0.68 ~ 4.56	50.33
	上部叶	90	2.91	0.86 ~ 9.50	77.83	1.75	0.45 ~ 4.13	59.57
	$\bar{X}$		3.59	0.86 ~ 10.88	58.28	2.32	0.45 ~ 7.37	56.27

2.3 烟叶 Pb、Cd 含量和积累量的动态变化

2.3.1 烟叶 Pb、Cd 含量的动态变化 分析烟叶 Pb、Cd 含量的动态变化, 发现它们随烤烟生长发育的进程而逐渐降低 (图 1), 类似烤烟体内其他营养元素^[16], 同时也与 Pb、Cd 在水稻体内的累积特点相似^[17]。这与矿质元素在植物体内“稀释效应”和烟叶对矿质元素先吸收后利用的生物特征基本一致。就下降速率而言, 南方烟区烟叶的 Pb、Cd 含量从苗期到成熟期减幅较大, 北方烟区减幅较小。

2.3.2 烟叶 Pb、Cd 积累量的动态变化 烟叶 Pb、Cd 的积累量由叶片中 Pb、Cd 的含量和烟叶干物质积累量共同决定。虽然烟叶中的 Pb、Cd 含量随生长发育的进程而下降, 但烟叶中 Pb、Cd 的积累量却呈“S”形曲线增加, 且 Pb 的积累量显著大于 Cd (图 2)。在南

方烟区, 烟叶 Pb 的积累量前期与北方相似, 但后期低于北方烟叶; Cd 的积累量与 Pb 相反, 南方烟叶高于北方。说明在我国南北烟区, 烟株对 Pb、Cd 的吸收或转运速率是不一样的。

图 3 表明, 尽管地域不同, 烟叶 Pb 的积累速率均显著高于 Cd。从总体上看, 烟叶积累 Pb、Cd 的速率呈单峰曲线变化。从移栽至栽后 45 天左右, 南北烟区烟叶累积 Pb 的速率相似; 以后南方烟区 Pb 累积速率明显低于北方, 且出现峰值的时间也比北方晚 15 天左右。Cd 则不同于 Pb, 在整个生育期内, 南方烟叶累积 Cd 的速率均大于北方, 尤以峰值差异最为明显, 这必然导致烟叶含 Cd 量南高北低。土壤类型和气候条件影响植物代谢过程、蒸腾作用和根系的吸收活力等, 进而作用于植物对重金属离子的吸收和转运^[18]。所以,

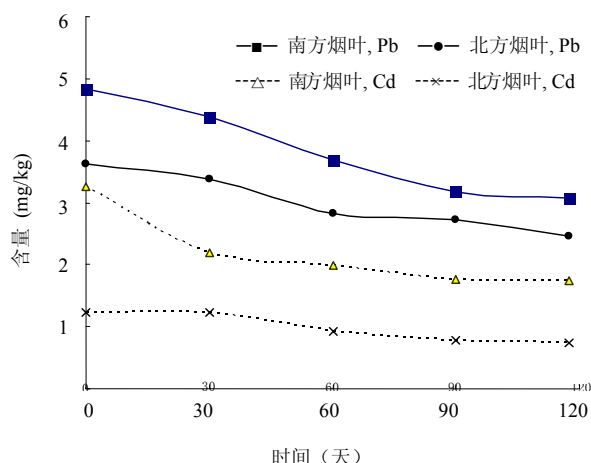


图 1 不同生育期烟叶 Pb、Cd 含量的动态变化

Fig. 1 Variation of Pb and Cd contents in flue-cured tobacco leaves with the growing periods

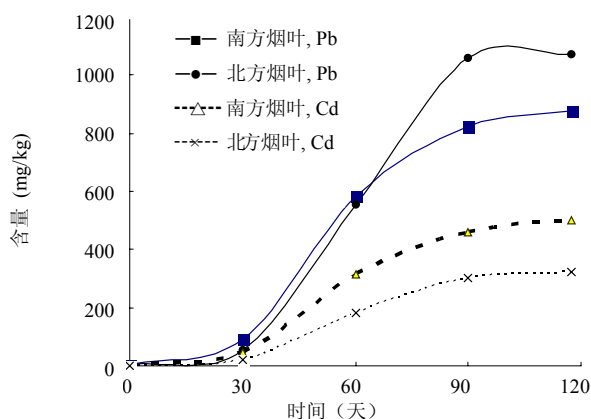


图 2 不同生育期烟叶 Pb、Cd 累积量的动态变化

Fig. 2 Variation of Pb and Cd accumulation in flue-cured tobacco leaves with the growing periods

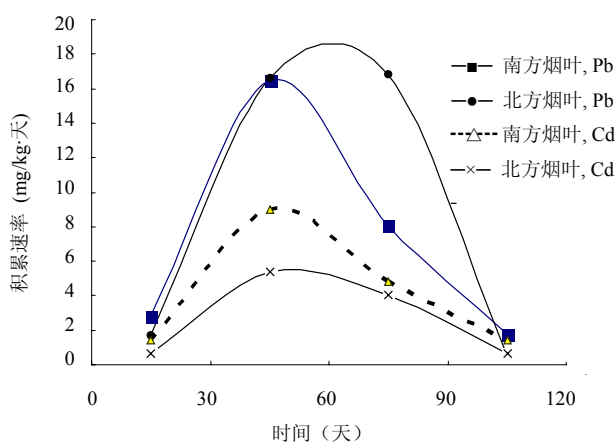


图 3 不同生育期烟叶 Pb、Cd 累积速率变化

Fig. 3 Variation of Pb and Cd accumulation rates in flue-cured tobacco leaves with the growing periods

烟叶累积 Pb、Cd 特征反应了南北区域生态环境条件的差异。

2.4 环境与烟叶 Pb、Cd 含量关系

上述结果表明,我国南北烤烟烟叶的 Pb、Cd 含量不同,变异系数较大,可能与区域性生态条件有密切关系。研究烤烟 Pb、Cd 含量与环境条件的关系,可为降低烤烟 Pb、Cd 含量提供许多有益的信息。

2.4.1 气候条件与烤烟 Pb、Cd 含量的关系 气候影响烟株的生长发育和物质吸收,也可能影响烤烟的 Pb、Cd 含量。综合各试点的研究资料表明,在烤烟生长季节,5 种气象因子与烟叶含 Pb 量的相关系数 ($n=33$,下同)依次为:日照时数 (-0.744^{**}) > 降雨量 (0.498^{**}) > 日均气温 (-0.371^{*}) > 日均 10 cm 地温 (-0.270) > 日均相对湿度 (0.255);直接途径系数依次为:日照时数 (-0.884) > 日均相对湿度 (-0.292) > 日均 10 cm 地温 (0.270) > 日均气温 (-0.188) > 降雨量 (0.084)。对烟叶含 Cd 量而言,气象因子与它们的相关系数依次为:日照时数 (-0.746^{**}) > 日均相对湿度 (0.562^{**}) > 日均气温 (-0.554^{**}) > 日均 10cm 地温 (0.375^{*}) > 降雨量 (0.370^{*});直接途径系数依次为:日照时数 (-0.819) > 降雨量 (-0.352) > 日均相对湿度 (0.239) > 日均气温 (-0.218) > 日均 10 cm 地温 (0.170)。相关系数反应了上述气象因子与烟叶 Pb、Cd 含量的相关程度,直接途径系数则反应了它们影响 Pb、Cd 含量的相对重要性。由此可见,在我国各烤烟种植区,日照时数、降雨量和平均气温显著影响烟叶含 Pb 量;日照时数、相对湿度、平均气温、地温和降雨量显著影响含 Cd 量;各种气象因子对烟叶 Pb、Cd 含量的影响程度和相对重要性存在差异,其中日照时数和降雨量(或相对湿度)与 Pb、Cd 含量的相关性和影响程度最大。我国南方烟叶的 Pb、Cd 含量高于北方可能与烤烟生育期内,南方日照时间短、雨量丰富、相对湿度较大等气象因素有关。

2.4.2 土壤与烟叶 Pb、Cd 含量的关系 土壤是作物生长的场所,土壤的理化性质必然影响烟叶 Pb、Cd 含量。统计分析表明,6 种土壤因子与烟叶 Pb 含量的相关系数 ($n=33$,下同)依次为:交换态 Pb (0.557^{**}) > 有机质 (0.529^{**}) > pH (-0.505^{**}) > 速效 P (0.446^{*}) > 碱解 N (0.219) > 速效 K (0.039);直接途径系数依次为:交换态 Pb (1.851) > pH (-1.743) > 有机质 (-0.695) > 速效 K (-0.193) > 碱解 N (-0.135) > 速效 P (-0.003)。对烟叶含 Cd 量而言,土壤因子与它们的相关系数依次为:交换态 Cd (0.771^{**}) > 有机质 (0.732^{**}) > pH (-0.712^{**}) > 速效 P (0.517^{**}) > 碱解 N (0.311) > 速效 K

(-0.092); 直接通径系数依次为 pH (-1.173) > 交换态 Cd (-0.294) > 有机质 (-0.190) > 速效 K (-0.174) > 碱解 N (-0.164) > 速效 P (0.057)。由此可见, 土壤中交换态 Pb、Cd, 有机质, pH 和速效 P 对烟叶 Pb、Cd 含量影响较大, 相关性显著, 但作用方向并不一致。烟叶 Pb、Cd 含量与土壤交换态 Pb、Cd 含量呈正相关, 说明在土壤中, 较高的交换态 Pb、Cd 含量促进了烟株对它们的吸收, 这与其他研究结果一致^[19-21]。为了降低烟叶的 Pb、Cd 含量, 选择交换态 Pb、Cd 含量低的土壤是必要的。此外, 土壤有机质也与烟叶 Pb、Cd 含量呈正相关, 说明土壤有机质增加, 有机结合态 Pb、Cd 的含量可能提高, 而有机态 Pb、Cd 又是交换态 Pb、Cd 的重要来源之一^[22]。说明在烤烟生产过程中, 施用有机肥可能存在提高烟叶重金属含量的风险。有研究发现, pH 主要影响土壤 Pb、Cd 吸附量, 在 pH 值为 4.0~7.7 的范围内, 每上升一个单位, Pb、Cd 吸附量增加 3 倍, 从而使它们向植物根际的迁移能力下降^[23]。因此, 土壤 pH 值与烟叶 Pb、Cd 含量呈负相关。我国南方土壤 pH 普遍低于北方, 这可能是我国烤烟 Pb、Cd 含量南高北低的另一个重要原因。从单纯降低烟叶 Pb、Cd 含量的角度而言, 在南方酸性土壤上适量施用石灰是必要的。值得注意的是, 根据土壤化学原理和其他有关研究表明, 土壤中的 P 可与 Pb、Cd 等重金属产生络合作用, 致使重金属的有效性降低^[16]。但本项研究表明, 烟叶 Pb、Cd 含量均与土壤中的有效 P 含量呈显著正相关, 不同于其他研究结果。在我国烤烟种植区, 为了保持和提高烤烟产量品质, 长期大量施用含 P 肥料, 这可能是土壤 Pb、Cd 等重金属污染的主要来源^[6], 而推测这也可能是土壤中有效 P 含量与烟叶 Pb、Cd 含量呈正相关的原因之一。所以, 在烤烟栽培中, 选择 Pb、Cd 含量低的土壤, 适量施用石灰, 避免大量施用有机肥, 防止 P 肥的重金属污染可能是降低烟叶过量积累 Pb、Cd 的有效措施。

3 结论

(1) 烟株各器官的含 Pb 量大于 Cd。在烟株体内, 含 Pb 量根系 > 叶片 > 茎 ≈ 烟杈(烟花), 但含 Cd 量叶片 > 茎 ≈ 烟杈(烟花) > 根系。此外, 烟叶 Pb、Cd 含量下部叶 > 中部叶 > 上部叶, 它们的含量随烤烟生长发育过程的推进而下降。

(2) 南方烟叶 Pb、Cd 的平均含量高于北方, 可能与 Pb、Cd 积累的速率和峰值有关。在烤烟整个生育期内, 南方烟叶积累 Cd 的速率和峰值显著高于北方。

(3) 环境条件显著影响烟叶 Pb、Cd 含量, 但有关因子的作用方向和影响程度不同。在气象因子中, 日

照时数和降雨量(或相对湿度)与烟叶 Pb、Cd 含量的相关性和影响程度最大; 在土壤因子中, 土壤中交换态 Pb、Cd, 有机质, pH 和速效 P 对烟叶 Pb、Cd 含量的影响较大, 相关性显著。

参考文献:

- [1] 崔玉静, 赵中秋, 刘文菊, 陈世宝, 朱永官. 镉在土壤-植物-人体系统中迁移积累及其影响因子. 生态学报, 2003, 23 (10): 2133-2143
- [2] 李荣春. Cd、Pb 及其复合污染对烤烟叶片生理生化及细胞亚显微结构的影响. 植物生态学报, 2000, 24 (2): 238-242
- [3] 刘玉萃, 李保华, 吴明作. 大气-土壤-小麦生态系统中铅的分布和迁移规律研究. 生态学报, 1997, 17(4): 418-525
- [4] De W. Cadmium in agriculture. Toxicol. Environ. Chem., 1990, 27: 53-63
- [5] 林琦, 陈英旭, 陈怀满. 小麦根际铅镉的生态效应. 生态学报, 2000, 20 (4): 634-638
- [6] 张庆利, 史学正, 黄标, 于东升, 王洪杰, Karin B, Ingrid O. 南京城郊蔬菜基地土壤有效态铅、锌、铜和镉的空间分异及其驱动因子研究. 土壤, 2005, 37 (1): 41-47
- [7] Chen XT, Wang G, Liang ZC. Effect of amendments on growth and element uptake of Pakchoi in a cadmium, zinc and lead contaminated soil. Pedosphere, 2002, 12 (3): 243-250
- [8] Tu C, Zheng CR, Chen HM. Effect of heavy metal pollution on potassium behavior in typic Udic Ferrisol. Pedosphere, 2000, 10 (1): 21-30
- [9] 刘霞, 刘树庆, 王胜爱. 河北主要土壤中 Cd 和 Pd 的形态分布及其影响因素. 土壤学报, 2003, 40 (3): 393-400
- [10] Zhao XL, Qing CL, Wei SQ. Heavy metal runoff in relation to soil characteristics. Pedosphere, 2001, 11 (2): 137-142
- [11] Liao M, Xie XM. Cadmium release in contaminated soils due to organic acids. Pedosphere, 2004, 14 (2): 223-228
- [12] 杨肖娥, 杨明杰. 镉从农业土壤向人类食物链的迁移. 广东微量元素科学, 1996, 3 (7): 1-13
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [14] 王焕校. 污染生态学基础. 云南: 云南大学出版社, 1990: 70-148
- [15] 中国预防医学科学院标准处编. 食品卫生国家标准汇编. 北京: 中国标准出版社, 1988: 702
- [16] 胡国松, 郑伟. 烤烟营养原理. 北京: 科学出版社, 2000: 62-239
- [17] Cheng WD, Zhang GP, Yao HG, Tang ML. Effect of grain position within a panicle and variety on As, Cd, Cr, Ni, Pb concentrations in japonica rice. Rice Science, 2005, 12 (1): 48-56
- [18] 莫尔维德特 JJ, 吉奥尔达诺 PW, 林赛 WL. 农业中的微量营养元素. 北京: 农业出版社, 1984: 135-175, 479-497

- [19] Rothbaum HP, Goguel RL, Johnston AE, Mattingly EG. Cadmium accumulations in soils from long continued application of superphosphate. *J. Soil Sci.*, 1986, 37: 99-107
- [20] Tso TC. Production, physiology, and biochemistry of tobacco plant. Maryland, USA: IDEALS, Inc. Beltsville, 1990: 319-330
- [21] 刘霞, 刘树庆, 唐兆宏. 河北主要土壤中 Cd、Pd 形态与油菜有效性的关系. *生态学报*, 2002, 22 (10): 1688-1694
- [22] Eriksson JE. A study on factors influencing cd levels in soils and in grain of oats and winter wheat. *Water Air and Soil Pollution*, 1990, 53 (1/2): 69-81
- [23] Jackson AP, Alloway BJ. The transfer of cadmium from sewage sludge amended soils into edible components of food crops. *Water Air Soil Pollute*, 1991, 57/58: 873-881

Pb and Cd in Flue-cured Tobacco and Their Relations to Environment

PAN Wen-jie^{1,2}, JIANG Chao-ying², TANG Yuan-ju², LI Ji-xin², HUANG Jian-guo¹

(1 *College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China*; 2 *Guizhou Tobacco Institution, Guiyang 550003, China*)

Abstract: Uniform experiments were carried out in 11 counties, scattered in 7 provinces, major tobacco growing regions in South and North China, to investigate contents of Pb and Cd in tobacco plants in relation to environment. Results showed that the content of Pb was higher than that of Cd in roots, stems, leaves and flowers of the tobacco plants. The content of Pb in tobacco plants varied in the sequence: roots > leaves > stems ≈ shoots (flowers), while Cd followed the sequence of leaves > stems ≈ shoots (flowers) > roots. The contents of Pb and Cd in leaves showed a trend of lower leaves > middle leaves > upper leaves and decreased gradually with the growth of the plants, but their accumulations increased along an S curve and their accumulation rates appeared in a singlet curve. Moreover, the contents of Pb and Cd were higher in tobacco leaves produced in South China than in North China. The variation coefficients of Pb and Cd concentrations in tobacco leaves were high, indicating significant influence of the environment. In regards to Pb (Cd) in relation to meteorological factors, negative correlations were observed with sunshine hours and positive ones with rainfall (or relative humidity). Thus, it seems quite reasonable to suggest that the higher Pb and Cd contents in tobacco leaves produced in South China than in North China could be caused by less sunshine hours, rich precipitation and high relative humidity. Furthermore, the contents of Pb (Cd) in tobacco leaves were found positively related to soil factors, such as exchangeable Pb (Cd) and available phosphorus, and negatively to soil pH. Therefore, it is possible to decrease effectively Pb and Cd contents in tobacco leaves in cultivation by growing them in low Pb (Cd) soils, liming properly, avoiding application of high rates of organic matter and heavy-metals-containing phosphorus fertilizers.

Key words: Flue-cured tobacco, Pb, Cd, Climate, Soil