

网络出版时间:2018-06-15 16:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2018.12.013

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180615.1606.026.html

不同氯水平下纳米脱氯剂对烤烟生长及氯吸收的影响

李 亮¹,张 翔¹,王亚宁¹,毛家伟¹,司贤宗¹,
索炎炎¹,余 琼¹,范艺宽²

(1 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002;2 河南省烟草公司,河南 郑州 450008)

【摘 要】【目的】探讨不同氯水平下烤烟的吸氯特性及纳米脱氯剂脱氯效果,为烤烟降氯探索可行性途径。**【方法】**以“中烟 100”为供试材料,采用田间盆栽试验,研究不同氯水平下,高分子纳米脱氯剂处理烟叶氯含量的变化规律,分析氯水平与烟叶氯含量的关系。**【结果】**烟苗移栽后,过早添加脱氯剂会抑制烟株的生长发育,不利于烟株干物质的积累。从脱氯效果来看,脱氯剂添加后 30 d,脱氯效果最佳,与同氯水平未添加脱氯剂处理相比,添加脱氯剂处理烤烟根、茎、叶的氯含量分别降低了 24.14%~59.68%,3.33%~16.26%和 6.65%~34.38%;全株氯积累量较同氯水平未添加脱氯剂的处理降低了 41.94%~73.98%。未添加脱氯剂处理烟株根、茎、叶的含氯量极显著受施氯水平的影响,且随施氯水平的增加,烟株根、茎、叶的氯含量均呈线性或指数函数上升趋势,而添加脱氯剂处理烟株茎和叶的氯含量与施氯水平间的线性和指数函数关系均未达到显著水平。烟株移栽后 30 d,植烟土壤氯含量差异显著,且表现为添加脱氯剂>未添加脱氯剂处理。**【结论】**在烟苗移栽后 30 d,施稀浓度为 0.5%的纳米脱氯剂 1.5 mL/kg,可有效阻控烤烟对氯的奢侈吸收,进而降低烟叶中的氯含量。

【关键词】 烤烟;施氯量;纳米脱氯剂;氯含量;氯积累量

【中图分类号】 S572.01

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)12-0098-09

Effects of nano-antichlor on growth and chlorine absorption of flue-cured tobacco under different chlorine levels

LI Liang¹,ZHANG Xiang¹,WANG Yaning¹,MAO Jiawei¹,SI Xianzong¹,
SUO Yanyan¹,YU Qiong¹,FAN Yikuan²

(1 Institute of Plant Nutrition Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2 Henan Tobacco Company, Zhengzhou, Henan 450008, China)

Abstract: 【Objective】The chlorine absorption and nano-antichlor dechlorination under different chlorine levels were explored to provide possible method for chlorine reduction of flue-cured tobacco. 【Method】Zhongyan 100 was planted in pot and changes of chlorine content in tobacco leaves were studied under different chlorine and nano-antichlor levels. The relationships between chlorine levels and chlorine content in tobacco leaves were also analyzed. 【Result】Adding nano-antichlor too early inhibited the growth and dry matter accumulation of tobacco. The best dechlorination effect occurred 30 days after nano-antichlor addition, and the chlorine contents of root, stem and leaf were decreased by 24.14%—59.68%, 3.33%—16.26% and 6.65%—34.38%, respectively, in comparison with the same chlorine level treatment without

〔收稿日期〕 2017-09-08

〔基金项目〕 河南省烟草专卖局科技项目(HYKJ201303, HYKJ201403, HYKJZD201503);中国烟草总公司科技项目(110201502013)

〔作者简介〕 李 亮(1982—),女,甘肃通渭人,助理研究员,博士,主要从事烟草施肥研究。E-mail:joyce121@163.com

〔通信作者〕 张 翔(1966—),男,河南遂平人,研究员,硕士,主要从事经济作物施肥研究。E-mail:zxtf203@163.com

nano-antichlor. The chlorine accumulation of the whole plant was reduced by 41.94%—73.98% compared with the same chlorine level treatment without nano-antichlor. The chlorine contents in roots, stems and leaves of tobacco treated without nano-antichlor were significantly affected by chlorine level, and the chlorine contents in roots, stems and leaves were linearly or exponentially related with the increase of chlorine application, but no significant difference appeared in stems and leaves of treatments with nano-antichlor. The soil chlorine contents were in the order of 0.5% antichlor > no antichlor 30 days after tobacco transplanting. 【Conclusion】 Application of 0.5% dechlorination agent at the rate of 1.5 mL/kg effectively block the extravagant absorption of flue-cured tobacco 30 days after tobacco transplanting and reduce the chlorine content in tobacco leaves.

Key words: flue-cured tobacco; chlorine application; nano-antichlor; chlorine content; chlorine accumulation

烟草是我国重要的叶用经济作物,多年来烟草行业是国家第一利税大户,在我国国民经济中占有举足轻重的地位。河南烟叶曾以“吃味醇和、香气浓郁、劲头适中、油润丰满、燃烧性强”的典型浓香型风格著称于世,对推动我国卷烟工业的发展具有重要作用^[1]。河南烟区是黄淮烟区的重要组成部分,也是我国烟叶的主产区,该区烤烟栽培历史悠久,烤烟种植已成为富民强省的一大支柱产业。但由于该烟区土壤及灌溉水中氯含量普遍较高,加之长期以来存在含氯肥料不合理施用的问题及该区降雨量较少,土壤淋溶作用较小,导致近年来烟叶氯含量普遍较高,这已成为制约该产区烤烟品质进一步提升的主要限制因素^[2-3]。

氯是烤烟生长必需但限量施用的元素,含氯量过低,烟叶易碎,影响烟叶成丝率,含氯量过高,又会影响烟叶的燃烧性,香气减少、烟味变劣,烟叶含氯量以 0.3%~0.8% 较适宜。适量氯对烤烟生长发育及烟叶开片具有促进作用,可使烟叶质地柔软、油润、有弹性、膨胀性好、切丝率高、破碎率低^[4-5],但烤烟对氯具有奢侈吸收的特性,高的供氯量直接影响到烟叶的氯含量。烤烟生产上除了严格控制氯肥的施用,通常以深耕深翻、科学排灌、改善栽培措施等来减控烟叶氯含量,但氯的化学性质非常活泼,又广泛存在于周围环境中,故实际生产中对烤烟氯含量的减控一直是技术性的难题^[6]。目前,纳米脱氯剂在高氯水脱氯的应用效果已被研究证明,但尚未有文献报道其在作物上的应用效果。为解决烟叶含氯量过高的问题,本研究以纳米脱氯剂为试材,基于田间盆栽试验,研究不同氯水平下,纳米脱氯剂对烟草吸氯特性的影响,以期通过脱氯剂脱氯方法降低烟叶氯含量,为河南烟区烟草降氯技术探索可行性途径。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间盆栽试验于 2015 年 5 月至 8 月在河南省漯河市临颍县进行。临颍县位于河南省中部,属于温带季风型大陆性气候,全县海拔为 53~74 m,多年平均日照时数 2 365.3 h,日照率 54%,年平均气温 14.5℃,年均降水量 720 mm,蒸发量 610 mm,无霜期 225 d 左右,四季分明、气候温和、雨量适中,为优质烤烟种植适宜区。供试土壤为黄壤土,基本理化性状:pH 7.3,有机质含量 18.7 g/kg,速效氮含量 150.7 mg/kg,速效磷含量 14.3 mg/kg,速效钾含量 196.8 mg/kg,水溶性氯含量 29.3 mg/kg。

1.2 材料

供试纳米脱氯剂由上海岚淼水处理科技有限公司提供(专利号:ZL 200910051824.0)。供试烟草品种“中烟 100”由临颍县烟草公司提供,烟苗采用漂浮育苗法培育。

1.3 试验设计与方法

田间盆栽试验共设 8 个处理(T1—T8),每个处理设 3 个重复,每个重复 15 盆。其中,未添加脱氯剂组为 T1—T4 处理,添加脱氯剂组为 T5—T8 处理(表 1)。

试验花盆规格为 40 cm×20 cm×30 cm(高×底径×顶径),每盆装供试土壤 15 kg(风干土质量),移栽 1 株烟苗,相邻两盆烟苗的株距模仿田间种植方式调整为 0.5 m。烟苗移栽前,不同氯水平处理用不同浓度的 NaCl(分析纯,Cl 60.44%)溶液进行调节。烟苗移栽时,需要降氯的处理添加 1.5 mL/kg 稀释浓度为 0.5% 的纳米脱氯剂。各处理施肥量均为每盆 N 6 g、P₂O₅ 9 g、K₂O 21 g。氮、磷、钾肥料品种分别由硝酸铵(N 34.9%)、普钙(P₂O₅

16%)和硫酸钾(K₂O 50%)提供。烤烟生长期根据土壤墒情适时浇水,每次浇水量达到土壤田间持水量的60%~80%。为使试验环境与大田环境一致,

试验安排在大田内进行,将盆埋于田间,并使盆沿与大田地面保持一致,试验田间管理均按当地优质烟叶生产要求进行。

表 1 田间盆栽试验处理
Table 1 Pot experimental treatments in field

处理 Treatment	施氯量/(mg·kg ⁻¹) Chlorine application	0.5%脱氯剂施入量/ (mL·kg ⁻¹) 0.5% nano-antichlor	处理 Treatment	施氯量/ (mg·kg ⁻¹) Chlorine application	0.5%脱氯剂施入量/ (mL·kg ⁻¹) 0.5% nano-antichlor
T1	0	0	T5	0	1.5
T2	45	0	T6	45	1.5
T3	90	0	T7	90	1.5
T4	180	0	T8	180	1.5

1.4 测定项目及方法

烟苗移栽后 30~90 d,每隔 15 d 采集烟草全株和土壤样品各 1 次。首次取样不分根、茎、叶,其余每次取样将烟草分根、茎、叶进行制样,并用清水冲洗干净,在 105 ℃下杀青 30 min,然后在 70 ℃下烘干至恒质量,称质量后粉碎过 40 目筛(直径 0.45 mm)保存,测定烟株不同部位氯含量。

每个处理选择有代表性的 3 株烤烟挂牌标记,于烟苗移栽后 60 d 测定烟株株高、茎围、叶片数、最大叶长及叶宽。叶面积=叶长×叶宽×叶面积指数,叶面积指数通常以 0.634 5 计算。用 SPAD-502 叶绿素测定仪分别测定烟叶的叶尖、叶中、叶基 3 个部位的 SPAD 值。

土壤氯含量采用水浸提,硝酸银滴定法测定;植株氯含量采用干灰化,水浸提,银量法测定^[7]。

1.5 数据分析

用 Excel 2013 整理数据,用 OriginPro 8.0 (OriginLab,USA)软件制图,用 SPSS 17.0 软件统计分析,用新复极差法进行平均数显著性检验。

2 结果与分析

2.1 脱氯剂对烤烟农艺性状的影响

由表 2 可见,不同施氯量及脱氯剂添加均对烟株农艺性状有显著影响。烟株株高、茎围、叶片数和叶面积均随施氯量的增加而减小,尤其施氯量高的 T4 处理,烟株出现叶色暗绿、叶片肥厚、叶缘向上卷曲的轻微氯中毒症状,导致烟株生长发育明显减弱。与未添加脱氯剂处理组相比,烟苗移栽期添加脱氯剂反而抑制烟株的生长发育。

表 2 不同脱氯剂处理烤烟的农艺性状 (60 d)

Table 2 Comparison of agronomic characters among different nano-antichlor treatments (60 d)

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem diameter	叶片数 Leaf number	叶面积/cm ² Leaf area	SPAD 值 SPAD value			
					叶尖 Leaf tip	叶中 Leaf middle	叶基 Leaf base	
T1	65.2 a	8.0 a	17 a	899.6 a	37.1 b	41.6 a	46.2 a	
T2	56.0 b	7.5 a	15 b	758.9 b	36.6 b	38.6 b	39.2 b	
T3	52.5 c	7.5 a	14 b	530.4 c	34.7 b	35.0 c	38.1 b	
T4	50.0 c	7.0 a	13 b	628.2 c	27.8 c	35.9 c	38.3 b	
T5	45.1 d	7.0 a	14 b	729.7 b	41.2 a	42.8 a	46.0 a	
T6	41.5 d	6.5 ab	11 c	410.8 d	40.7 a	46.7 a	48.4 a	
T7	49.0 c	6.5 ab	13 b	617.8 b	44.9 a	45.5 a	47.0 a	
T8	49.4 c	6.0 b	12 bc	670.0 b	42.8 a	43.7 a	43.8 ab	

注:同列数据后标不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。
Note:Different lowercase letters in same column indicate significant difference at P<0.05 level.

叶绿素含量可反映烟叶光合性能的强弱,影响烟株碳水化合物及其有机物质的合成。氯在光合系统中是光系统Ⅱ的催化剂,同时氯在叶绿体中优先积累,对叶绿素的稳定起保护作用^[8-9]。SPAD 值表征叶绿素的相对含量,在烤烟生长的前中期,较高 SPAD 值有利于烤烟干物质的积累和产量的提高,在烤烟生长后期,较高的 SPAD 值反而不利于

烤烟的成熟落黄。表 2 显示,各处理烟叶不同叶位的 SPAD 值均呈现出叶基>叶中>叶尖,且随着施氯量的增加而递减,究其原因可能是因为过高的氯水平影响了叶绿素合成,进而降低了烟株体内叶绿素的含量和光合强度^[6,10]。由表 2 可看出,与未添加脱氯剂处理组相比,添加脱氯剂可提高烟叶的 SPAD 值。

2.2 脱氯剂对烤烟干物质积累量的影响

不同生育期的干物质积累状况反映这一时期烟株根、茎、叶等不同部位的生长发育状况。图 1 显示,在不同生育期,与对照 T1 相比,T2、T3 和 T4 处理全株干物质积累量减少幅度分别为 13. 25%~29. 03%,17. 67%~47. 39%和 19. 35%~65. 34%,表明氯过高会显著降低烟株干物质的积累量。不同生育期,全株干物质积累量均表现为未添加脱氯剂处理>添加脱氯剂处理,这可能是在烟苗移栽期添

加脱氯剂时间尚早,会抑制烟苗前期的生长发育反而不利于烟株干物质的积累,建议烟株团棵后再添加,可避免脱氯剂对烟株前期生长发育的抑制作用。各处理均是叶干物质积累量所占比例最高,其次是茎,再者是根。其中,根干物质积累量所占比例为8. 68%~28. 18%,茎为 7. 78%~41. 22%,叶为 41. 24%~79. 75%。处理间根、茎、叶的干物质积累量有显著性差异,且各处理根、茎、叶的干物质积累量均是移栽后 60~90 d 增长速率最快。

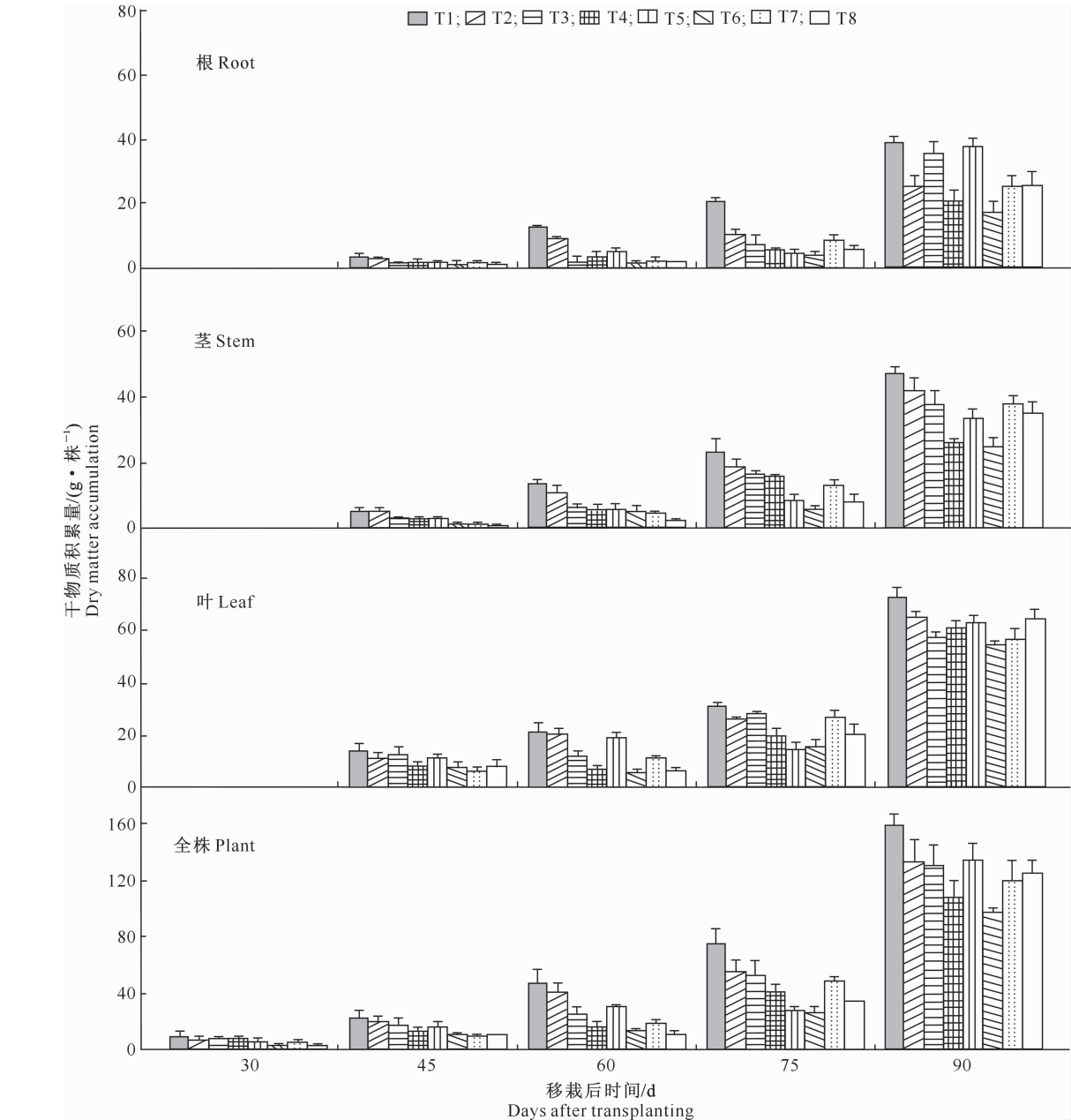


图 1 脱氯剂处理对烤烟干物质积累量的影响

Fig. 1 Effect of different nano-antichlor treatments on dry matter accumulation

2.3 脱氯剂对烟株氯含量的影响

图 2 表明,烤烟全生育期,施氯量为 45 mg/kg

时,全株中氯含量显著高于不施氯处理,为0. 66%~1. 90%;当施氯量增加到 90 和 180 mg/kg 时,全株

氯含量分别为 0.74%~2.20%和 0.75%~2.49%。可见,未添加脱氯剂时,全株氯含量随施氯水平的增加呈上升趋势。从移栽后 30~90 d 烟株氯含量的变化规律来看,烟株对氯的吸收以生长前期居多,生长后期各处理对氯的吸收差异不显著,也说明烟株前期快速生长,烟株对氯的吸收利用较多,因为大量合成叶绿素需要较高浓度的氯^[11]。脱氯剂添加 30 d 时的脱氯效果最佳,T5、T6、T7 和 T8 处理全株氯含量比同氯水平未添加脱氯剂的处理分别降低 0.02%,42.11%,40.00%和 27.71%,表明施氯量为 45~90 mg/kg 时,纳米脱氯剂脱氯效果最佳,而

施氯量过高(180 mg/kg)时,脱氯效果相对较差。脱氯剂添加 60 d 后脱氯效果逐渐减弱,可能是脱氯剂吸氯量已达到吸附饱和,导致添加脱氯剂组与未添加脱氯剂组全株氯含量无显著性差异。烟株氯含量以叶片最高,其次是茎,再者是根。脱氯剂添加后 30 d,与同氯水平未添加脱氯剂处理相比,添加脱氯剂的 T5、T6、T7 和 T8 处理根的氯含量分别降低了 24.14%,59.68%,50.72%和 31.94%;茎的氯含量分别降低了 3.33%,16.26%,12.57%和 11.56%;烟叶的氯含量分别降低了 6.65%,26.92%,34.38%和 24.05%。

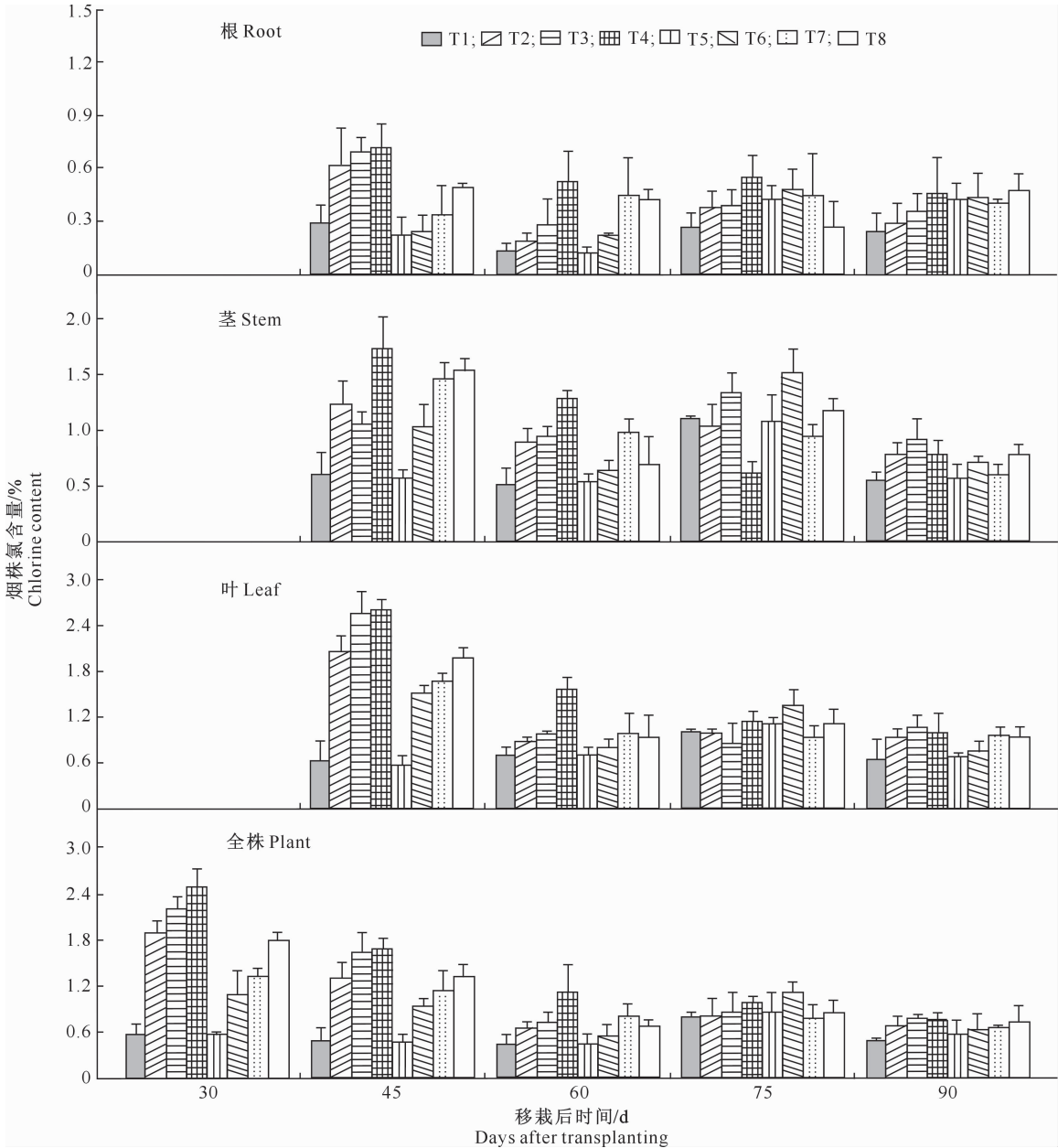


图 2 脱氯剂处理对烟株氯含量的影响

Fig. 2 Effect of different nano-antichlor treatments on tobacco chlorine content

2.4 脱氯剂对烟株氯积累分配规律的影响

图 3 显示,烤烟移栽后 30 d,全株的氯积累量依次为 T4>T3>T2>T7>T1>T8>T6>T5。表明未添加脱氯剂时,全株氯积累量随施氯量的增加而增加,添加脱氯剂处理全株氯积累量较同氯水平未添加脱氯剂的处理降低了 41.94%~73.98%。氯以离子形态在烟株体内赋存,且流动性较强,在各器官间也会出现转运情况。从烟株不同器官看,在整

个生育期,烟株根、茎、叶的氯积累量均表现持续上升趋势,且各器官氯积累量呈叶(49.20~621.64 mg/株)>茎(12.29~346.38 mg/株)>根(3.74~159.39 mg/株)的规律。烟株各器官氯分布如图 4 所示,氯分配最多的是叶,占全株的 50.19%~89.81%,其次是茎为 6.74%~44.08%,根为 2.68%~20.02%。

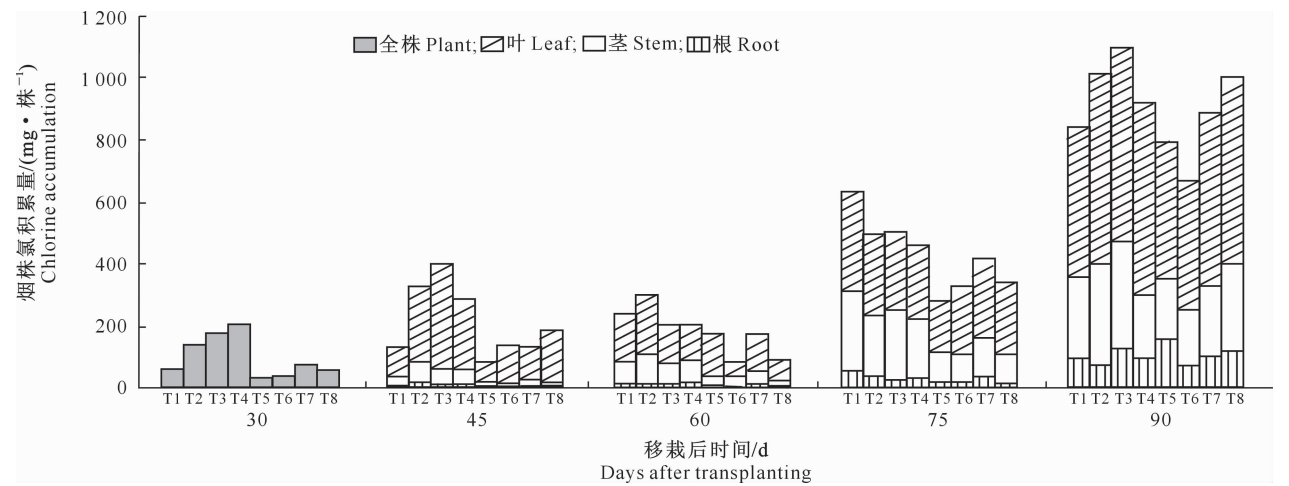


图 3 脱氯剂处理对烟株氯积累量的影响
Fig. 3 Effect of different nano-antichlor treatments on tobacco chlorine accumulation

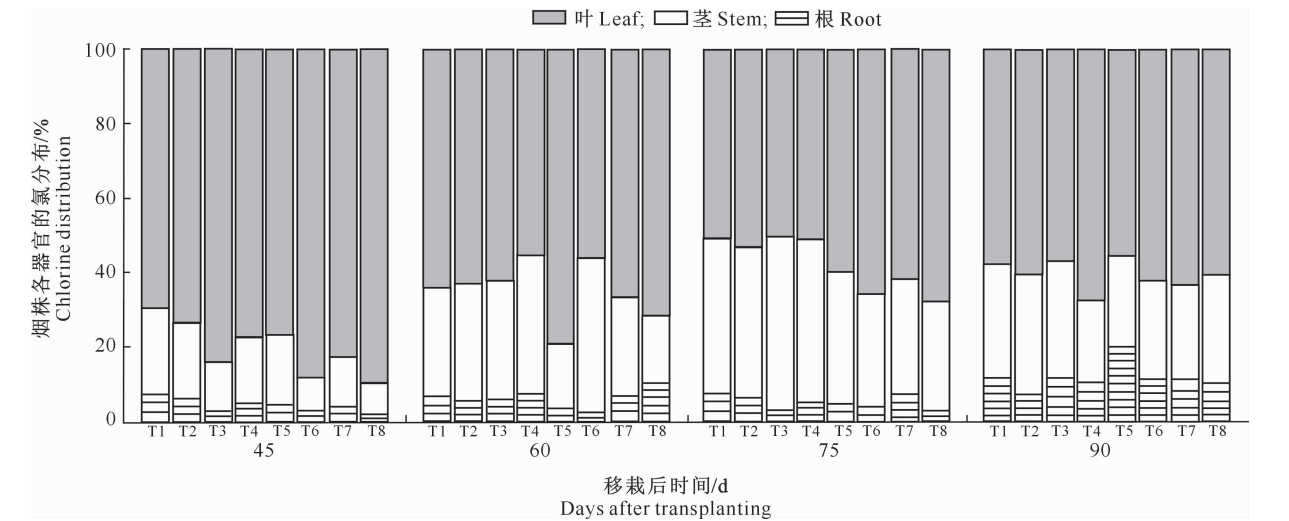


图 4 脱氯剂处理对烟株各器官氯分布的影响
Fig. 4 Effect of different nano-antichlor treatments on chlorine distribution in various organs of tobacco plants

2.5 脱氯剂对植烟土壤氯含量的影响

土壤中的氯主要以游离态的 Cl^- 存在,其含量不仅与含氯肥料施用、含氯水灌溉、含氯农药施入和降雨有关,而且还与土壤自身状况、种植制度、土壤水分条件和排水状况有一定的关系^[12-13]。烤烟属耐氯弱的植物,其在土壤中的耐氯临界值为 150~180 mg/kg,当土壤氯含量超过临界值时,烤烟会发生中

毒现象^[14]。从图 5 可知,烟株移栽后 30 d,植烟土壤氯含量较其他生育期高,且土壤氯含量依次为 T8 (160.70 mg/kg)>T4 (139.65 mg/kg)>T7 (115.10 mg/kg)>T3 (80.90 mg/kg)>T6 (49.65 mg/kg)>T5 (45.45 mg/kg)>T2 (35.50 mg/kg)>T1 (26.70 mg/kg),表明随施氯量的增加,土壤中氯含量亦增加,且植烟土壤氯含量表现为

添加脱氯剂>未添加脱氯剂处理,究其原因主要是脱氯剂添加后抑制了烟株对氯的吸收,所以土壤中残留的氯相对含量较高。烟株移栽后 60 d,由于施

入的 Cl^- 被烤烟植株吸收利用及降雨和灌溉淋失所致,各处理间土壤氯含量无显著性差异。

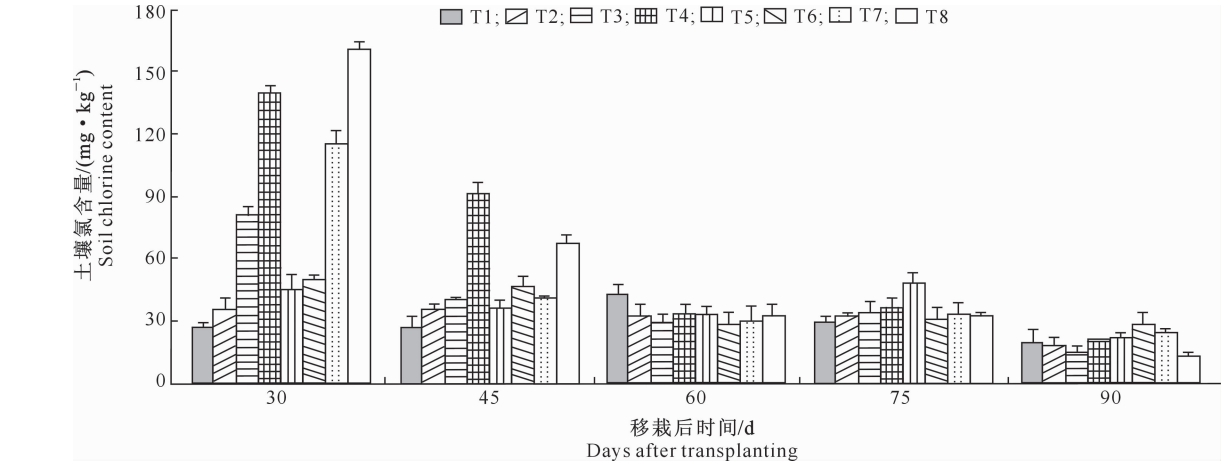


图 5 脱氯剂处理对植烟土壤氯含量的影响

Fig. 5 Effect of different nano-antichlor treatments on soil chlorine content

2.6 施氯量与烟株氯含量之间的相关性

表 3 表明,未添加脱氯剂的处理烟株不同器官氯含量($y, \%$)与施氯量($x, \text{mg/kg}$)间呈极显著的线性正相关或指数函数关系,表明未添加脱氯剂处理的烟株含氯量极显著地受施氯量的影响,随着施氯量的增加,烟株根、茎、叶的氯含量均呈线性或指数

函数上升趋势。除根外,添加脱氯剂处理的烟株茎和叶的氯含量与施氯量之间的线性相关和指数函数关系均未达到显著水平,这表明脱氯剂的添加抑制了烟株茎和叶对氯的大量吸收,烟株体内运输到茎和叶的氯相对较少,也说明脱氯剂有显著的脱氯作用。

表 3 施氯量与烟株氯含量的相关关系 (60 d)

Table 3 Correlation between chlorine application and chlorine content in tobacco plant (60 d)

处理 Treatment	器官 Organ	线性函数关系 Linear functional relationship $y=ax+b$			指数函数关系 Exponential function relationship $y=a\times\exp(b\times x)$		
		a	b	r^2	a	b	r^2
未添加脱氯剂 Without dechlorination agent	根 Root	0.002 3	0.104 0	0.978 1**	0.133 2	0.007 8	0.997 4**
	茎 Stem	0.003 9	0.600 0	0.930 7**	0.606 1	0.004 5	0.853 6**
	叶 Leaf	0.004 7	0.676 0	0.959 9**	0.717 9	0.004 2	0.983 7**
添加脱氯剂 Application dechlorination agent	根 Root	0.001 8	0.164 0	0.727 3*	0.154 3	0.007 0	0.733 2*
	茎 Stem	0.001 0	0.634 0	0.172 1	0.615 1	0.001 6	0.228 9
	叶 Leaf	0.001 3	0.768 0	0.565 1	0.763 0	0.001 6	0.587 5

注: * 和 ** 分别表示相关系数分别达到 0.05 和 0.01 的显著水平。下表同。

Note: * and ** indicate correlation coefficients are significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

2.7 施氯量与植烟土壤氯含量之间的相关性

表 4 表明,未添加脱氯剂处理的植烟土壤氯含量($y, \%$)与施氯量($x, \text{mg/kg}$)间呈线性负相关或指数函数关系。添加脱氯剂处理的植烟土壤氯含量与施氯量呈正相关关系,究其原因主要是未添加脱氯

剂处理的烟株氯含量随施氯量的增加呈线性或指数函数上升趋势,故相对残留在土壤中的氯含量较小,而脱氯剂的添加抑制了烟株对氯的吸收,在施氯量一定的情况下土壤中残留的氯相对含量较高。

表 4 施氯量与植烟土壤氯含量的相关关系 (60 d)

Table 4 Correlation between chlorine application and chlorine content in soil (60 d)

处理 Treatment	线性函数关系 Linear functional relationship $y=ax+b$			指数函数关系 Exponential function relationship $y=a\times\exp(b\times x)$		
	a	b	r^2	a	b	r^2
未添加脱氯剂 Without dechlorination agent	-0.044 0	37.800	0.324 2	37.262	-0.001 2	0.299 3
添加脱氯剂 Application dechlorination agent	0.001 2	30.920	0.001 4	30.810	0.000 1	0.003 0

3 讨 论

烤烟极易对氯进行奢侈吸收,过量的氯势必对烤烟的光合作用、生长发育、外在质量、吸湿性和香味等造成不良的影响^[15-19]。张翔等^[20]研究认为,来自土壤、灌溉水和肥料的氯分别占烤烟总吸氯量的 61.8%,37.1%和 1.1%。河南虽远离海岸,降水中的氯补给很少,可不予考虑,但该区大部分植烟土壤氯含量并不低,且大多烟农采用氯含量较高的地下水进行灌溉,加上长期含氯肥料的不合理施用,导致烤烟氯含量普遍较高。目前,在农业生产上,主要通过深耕深翻、合理轮作、合理密植、科学排灌、改善栽培条件等农艺措施,以达到消减烟叶氯含量的目的,但这些措施短期的降氯提质成效并不显著。本研究主要通过研究烤烟在不同氯水平下的吸氯特性,通过添加纳米脱氯剂快速对烤烟氯含量进行调控。

前人研究表明,低氯时,适量施氯能促进烟株生长,过量施氯则会抑制烟株生长,且随施氯量的增加,烟株干物质积累量呈抛物线型趋势变化^[21-22]。本研究供试土壤氯背景值为 29.3 mg/kg,由于盆栽试验氯的淋失量较少,除对照外,其他氯处理均超过优质烤烟生长氯含量 25~30 mg/kg,故与对照相比,其他处理均抑制了烤烟生长发育。本研究结果与不同器官的氯含量叶>茎>根的研究结果不一致^[17]。但在不同氯水平下,烟叶中的氯积累量均最高,其次为茎,根中氯积累量最低,这与已有研究结果一致^[23]。可见氯在烟株根部被吸收后主要向叶和茎输送。彭成林等^[24]研究发现,烟株不同部位氯积累量呈现先增加后降低的趋势,氯的积累高峰出现在旺长期。由于本研究为大田盆栽试验,可能有别于烤烟大田生育期,氯的积累高峰出现在移栽 75 d 以后。

由于受土壤氯含量本底值、灌溉、降雨及栽培措施等因素影响,得到的烟叶氯含量与施氯量的拟合方程有所差别。以往大多研究表明,烟株中氯含量与施氯量呈显著正相关关系^[25]。曾睿等^[18]报道,烟叶中的氯含量随氯水平的增加而逐渐提高,两者呈直线或指数函数关系。许永锋等^[23]报道,烟株氯含量与施氯量呈显著性相关关系。本研究只有未添加脱氯剂的处理与上述研究结果一致,即随施氯量的增加,烟株氯含量呈线性或指数函数上升,而脱氯剂的添加抑制了烟株对氯的吸收从而阻碍了这种上升趋势。

供试脱氯剂是一种由生物工程方法合成的高分子纳米脱氯剂,其分子链的官能团能迅速吸附氯离子,形成有机大分子物质。大田试验研究表明,烤烟移栽后 30 d 采用 5‰ 纳米脱氯剂处理的脱氯效果较佳。此外,纳米脱氯剂施用也未对烤烟的化学成分和评吸质量产生不良影响^[26]。本研究表明,0.5% 纳米脱氯剂添加后 30 d,与同氯水平未添加脱氯剂处理相比,添加脱氯剂处理的烟叶氯含量降低了 6.65%~34.38%,证明该脱氯剂一定程度上确实抑制了烟株对氯的吸收,但脱氯剂的脱氯效果具有时效性,添加 60 d 后脱氯剂达到吸附饱和,其脱氯效果逐渐不明显。

4 结 论

本研究结果表明,脱氯剂添加 30 d 的烤烟脱氯效果最佳,且施氯量为 45~90 mg/kg 时,添加纳米脱氯剂处理烤烟全株氯含量较未添加脱氯剂处理降低了 40.00% 以上,当施氯量过高(180 mg/kg)时,烟株全株降氯效果相对较差。添加 60 d 后脱氯剂脱氯效果逐渐减弱。在烟苗移栽后 30 d,施稀释浓度为 0.5% 的纳米脱氯剂 1.5 mL/kg,可避免脱氯剂对烟苗生长的抑制作用,有效阻控烤烟对氯的吸收,进而降低烟叶中的氯含量,故采用高分子纳米脱氯剂来抑制烟叶对氯的奢侈吸收,也是烟草提质降氯的可选择途径。

[参考文献]

- [1] 张 翔,黄元炯,范艺宽.河南植烟土壤烤烟营养[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
Zhang X,Huang Y J,Fan Y K. Tobacco-growing soil and tobacco nutrition in Henan Province [M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press,2009.
- [2] 李 强,周翼衡,何 伟,等.中国主要烟区烤烟氯含量区域特征研究[J].中国土壤与肥料,2010(2):49-54.
Li Q,Zhou Y H,He W,et al. Study of regional characteristic of chlorine of flue-cured tobacco in main tobacco area of China [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2010(2):49-54.
- [3] 赵竞英,刘国顺,介晓磊.河南主要植烟土壤养分状况与施肥对策[J].土壤通报,2001,32(6):270-272.
Zhao J Y,Liu G S,Jie X L. The nutrient regimes in soils growing tobacco in Henan and fertilization methods [J]. Chinese Journal of Soil Science,2001,32(6):270-272.
- [4] 曹志洪,冯光群.优质烤烟生产的土壤与施肥[M].南京:江苏科学技术出版社,1991.
Cao Z H,Feng G Q. Soil and fertilization in the production of high quality flue-cured tobacco [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press,1991.

- [5] 张振平. 洛南县烟叶氯含量问题商榷 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(4): 33-36.
Zhang Z P. Discussions on chlorine content of tobacco leaves in Luonan county [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2002, 30(4): 33-36.
- [6] 张 阳, 屠乃美, 康 健, 等. 烤烟氯营养研究进展 [J]. 湖南农业科学, 2015(3): 139-143.
Zhang Y, Tu N M, Kang J, et al. Research progress in effects of chloride on flue-cured tobacco [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2015(3): 139-143.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [8] 李明德, 肖汉乾, 汤海涛, 等. 湖南烟区土壤含氯状况及烤烟施氯效应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 44-50.
Li M D, Xiao H Q, Tang H T, et al. Status of chlorine content in tobacco-planting soils in Hunan province and tobacco responses on chlorine application [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 44-50.
- [9] 张清壮, 屠乃美, 付小红, 等. 氯对烤烟的影响及植烟土壤氯现状 [J]. 作物研究, 2015, 29(2): 215-220.
Zhang Q Z, Tu N M, Fu X H, et al. Effect of chlorine on flue-cured tobacco and current situation of chlorine in tobacco-planting soil [J]. Crop Research, 2015, 29(2): 215-220.
- [10] 刘国顺, 李姗姗, 位辉琴, 等. 不同浓度氯营养液对烤烟叶片生理特性的影响 [J]. 华北农学报, 2005, 20(2): 72-75.
Liu G S, Li S S, Wei H Q, et al. Effect of different Cl-concentrations on physiological characteristics of flue-cured tobacco leaves [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2005, 20(2): 72-75.
- [11] 陈朝阳, 陈志厚, 吴 平. 南平烟区植烟土壤氯的烤烟适宜指标研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 89-97.
Chen C Y, Chen Z H, Wu P. Study on flue-cured tobacco planting soil suitable indicator of chlorine in Nanping [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(4): 89-97.
- [12] 曾 睿, 董文汉, 何忠俊, 等. 不同施氯水平对云南烤烟生长、产量和品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 212-216.
Zeng R, Dong W H, He Z J, et al. Effects of different chlorine application level on growth, yield and quality of flue-cured tobacco of Yunnan [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(21): 212-216.
- [13] 刘 鹏, 朱金峰, 郭 利, 等. 烤烟氯离子来源及控制措施研究进展 [J]. 江西农业学报, 2013, 25(3): 74-77.
Liu P, Zhu J F, Guo L, et al. Research progress in source and control measures of chlorine ion in flue-cured tobacco [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2013, 25(3): 74-77.
- [14] 杨林波, 刘洪祥, 章新军, 等. 氯素营养对黔北烟区烤烟产量和品质的效用研究 [J]. 中国烟草科学, 2002(1): 21-24.
Yang L P, Liu H X, Zhang X J, et al. Effect of chlorine on yield and quality of flue-cured tobacco in north tobacco-growing area of Guizhou Province [J]. Chinese Tobacco Science, 2002(1): 21-24.
- [15] 刘洪斌, 毛知耘. 氯和钾营养对烤烟产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 57-60.
Liu H B, Mao Z Y. Influence of chlorine and potassium on yield and quality of flue-cured tobacco [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1995, 1(1): 57-60.
- [16] 李建和, 梁颂捷, 林祖斌, 等. Cl 对烤烟光合作用的影响 [J]. 福建农业大学学报, 1999, 28(2): 184-187.
Li J H, Liang B J, Lin Z B, et al. Effect of chloride on photosynthesis of tobacco [J]. Journal of Fujian Agricultural University, 1999, 28(2): 184-187.
- [17] 许自成, 郭 燕, 肖汉乾. 湖南烟区土壤水溶性氯的地区分布特点及其与烤烟氯含量的关系 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2190-2194.
Xu Z C, Guo Y, Xiao H Q. Geographic distribution of soil water-soluble chlorine content and its relations to chlorine content in flue-cured tobacco leaves in Hunan tobacco-growing areas [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(12): 2190-2194.
- [18] 曾 睿, 陈 春, 何忠俊, 等. 不同供氯水平对烤烟生长发育和养分吸收的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2010(5): 55-62.
Zeng R, Chen C, He Z J, et al. Effects of chlorine application levels on growth and nutrient absorption of flue-cured tobacco [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2010(5): 55-62.
- [19] 阳苇丽, 王龙宪, 许自成, 等. 烤烟钾、氯含量及钾氯比与烟气指标的关系分析 [J]. 江西农业学报, 2011, 23(12): 109-112.
Yang W L, Wang L X, Xu Z C, et al. Analysis of relationships between potassium content, chlorine content, ratio of potassium to chlorine in flue-cured tobacco leaves and smoking gas indices [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(12): 109-112.
- [20] 张 翔, 范艺宽, 李富欣, 等. 烤烟吸收氯的主要来源及其在体内分布的研究 [J]. 土壤肥料, 2006(2): 62-64.
Zhang X, Fan Y K, Li F X, et al. The study of chloride's main origin and accumulation in flue-cured tobacco [J]. Soils and Fertilizers, 2006(2): 62-64.
- [21] 石孝均, 霍沁建, 关博谦, 等. 重庆市烤烟氯素营养研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(3): 74-80.
Shi X J, Huo Q J, Guan B Q, et al. Study on chlorine nutrition of flue-cured tobacco in Chongqing [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2007, 29(3): 74-80.
- [22] 徐安传, 李佛琳, 王 超. 氯素对烤烟生长发育和品质的影响研究进展 [J]. 中国烟草科学, 2007, 28(2): 6-9.
Xu A C, Li F L, Wang C. Advance in effect of chloride on flue-cured tobacco growth and development and leaf quality [J]. Chinese Tobacco Science, 2007, 28(2): 6-9.
- [23] 许永锋, 陈顺辉, 李文卿, 等. 不同施氯量对烤烟氯含量和产质量的影响 [J]. 中国烟草科学, 2008, 29(5): 27-31.
Xu Y F, Chen S H, Li W Q, et al. Effects of chlorine rates on chlorine content, yield, and quality of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2008, 29(5): 27-31.

- 国计划出版社,2006.
- City Construction Bureau of the Committee of Shanghai. Code for design of outdoor water supply engineering [M]. Beijing: China Planning Publishing House,2006.
- [10] 王莉萍,武 坤,周武超. 浅析处理含氟废水常用的两类方法 [J]. 化学推进剂与高分子材料,2015,13(1):46-51.
- Wang L P, Wu K, Zhou W C. Analysis of the treatment with two kinds of commonly used method of fluoride wastewater [J]. Chemical Propellants & Polymerics, 2015, 13(1): 46-51.
- [11] 白雨平,郜玉楠,郭海军,等. 地下水氟污染的壳聚糖吸附处理工艺 [J]. 净水技术,2012,31(2):30-33.
- Bai Y P, Gao Y N, Guo H J, et al. The adsorption process of fluoride contaminated groundwater by chitosan [J]. Water Purification Technology, 2012, 31(2): 30-33.
- [12] Shukla A, Zhang Y H, Dubey P, et al. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water [J]. Journal of Hazardous Materials, 2002, 95(12): 137-152.
- [13] Kaczala F, Marques M, Hogland W. Lead and vanadium removal from a real industrial wastewater by gravitational settling/sedimentation and sorption onto *Pinus sylvestris* sawdust [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(1): 235-243.
- [14] 史晓燕,肖 波,李建芬,等. 锯末在重金属废水处理中的应用 [J]. 工业水处理,2007,27(4):9-12.
- Shi X Y, Xiao B, Li J F, et al. Application of sawdust in heavy metal wastewater treatment [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(4): 9-12.
- [15] 马 超. 铝锰复合金属氧化物同步去除水体中砷氟的效能研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2015.
- Ma C. Simultaneous removal arsenate and fluoride from water with Mn-Al composite metal oxide [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2015.
- [16] Wu K, Liu T, Lei C, et al. Evaluation of Al-based nanoparticle-impregnated sawdust as an adsorbent from byproduct for the removal of arsenic(V) from aqueous solutions [J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2017.
- [17] Das D P, Das J, Parida K. Physicochemical characterization and adsorption behavior of calcined Zn/Al hydrotalcite-like compound (HTlc) towards removal of fluoride from aqueous solution [J]. J Colloid Interface Sci, 2003, 261(2): 213-220.
- [18] Murray J W. Book review: aquatic surface chemistry [M]// Werner S. Chemical processes at the particle-water interface. Routledge: John Wiley & Sons Inc, 1987: 520, 2001.
- [19] Lazaridis N K, Asouhidou D D. Kinetics of sorptive removal of chromium(VI) from aqueous solutions by calcined Mg-Al-CO(3) hydrotalcite [J]. Water Research, 2003, 37(12): 2875-2882.
- [20] Yousef R I, El-eswed B, Al-muhtaseb A A H. Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbents for phenol removal from aqueous solutions: kinetics, mechanism, and thermodynamics studies [J]. Chemical Engineering Journal, 2011, 171(3): 1143-1149.
- [21] 王一凡. Ca-Al-La 复合除氟材料的制备及其除氟性能研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- Wang Y F. Ca-Al-La composite material of removing fluoride preparation and effect of fluoride removal [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [22] 雷 超. 铝锰氧化物负载锯末对砷、氟的吸附效能及机理 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- Lei C. Adsorption efficiency and mechanism of arsenic and fluoride by Al-Mn-oxide load sawdust [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2015.
- [23] Ku Y, Chiou H M. The adsorption of fluoride ion from aqueous solution by activated alumina [J]. Water Air & Soil Pollution, 2002, 133(1/2/3/4): 349-361.
- [24] 赵 蓓, 张 昱, 豆小敏, 等. 挤压法制备 Fe-Al-Ce 复合氧化物颗粒除氟性能及地下水处理应用 [J]. 环境工程学报, 2013, 7(8): 2801-2807.
- Zhao P, Zhang Y, Dou X M, et al. Extrusion preparation of Fe-Al-Ce composite oxide particles of fluoride removal performance and groundwater treatment application [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(8): 2801-2807.
- (上接第 106 页)
- [24] 彭成林, 袁家富, 毕庆文, 等. 施氯对烤烟生长及氯在烟株体内分布的影响 [J]. 湖北农业科学, 2003(4): 63-65.
- Peng C L, Yuan J F, Bi Q W, et al. Effects of chlorine application on growth and chloride distribution in flue-cured tobacco [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2003(4): 63-65.
- [25] 李文卿, 陈顺辉, 林海滨, 等. 施氯量与烤烟物质积累相关关系及施氯量研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 221-225.
- Li W Q, Chen S H, Lin H B, et al. Studies on appropriate chlorine amounts and relationship between chlorine amount and material accumulation of flue-cured tobacco [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(18): 221-225.
- [26] 李 亮, 张 翔, 毛家伟, 等. 多糖纳米脱氯剂对烤烟氯素吸收积累及产质量的影响 [J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 10-15.
- Li L, Zhang X, Mao J W, et al. Effects of polysaccharide nanantichlor on chlorine absorption and accumulation, yield and quality of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5): 10-15.