

不同宽度林带对国道两侧农田水稻叶片和糙米中重金属含量的影响

杨奕如^{1,2}, 殷云龙^{1,①}, 徐和宝¹

[1. 江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008]

摘要:以205国道淮安段具有5 m和20 m宽林带的路段为研究区域,对国道东西两侧200 m范围内农田水稻(*Oryza sativa* L.)叶片和糙米中Al、Fe、Cu、Zn、Cd、Cr、Ni和Pb含量及其与路侧距离的相关性进行了分析。结果表明:具5 m宽林带路段两侧稻叶和糙米中大多数重金属元素的含量呈现随路侧距离增加而减少的趋势,且峰值多出现在距路侧5~10 m或20 m附近;其中,东侧稻叶中Cu、Cr和Ni含量及糙米中Al、Fe、Cu、Zn和Ni含量以及西侧稻叶中Cu和Pb含量及糙米中Cd和Pb含量与路侧距离呈显著或极显著负相关。具20 m宽林带路段两侧稻叶和糙米中大多数重金属元素的含量并没有呈现随路侧距离增加而减少的趋势,且峰值多出现在距路侧20 m以外;只有东侧稻叶中Cr和Ni含量及糙米中Fe和Ni含量以及西侧糙米中Al和Cu含量与路侧距离呈显著或极显著负相关。具5 m宽林带路段两侧稻叶和糙米中的重金属含量分布特征与无林带路段十分相似,而具20 m宽林带路段两侧稻叶和糙米中的重金属含量较低,说明20 m宽林带对公路大气污染物有较明显的阻滞作用。根据研究结果,建议在公路两侧10~20 m范围内设置乔灌草结构模式的防护林带,并适当提高防护林中灌木的比例,保持乔木疏密适度。

关键词:公路两侧;林带;稻叶;糙米;重金属;空间分布;相关性分析

中图分类号: S727.24; X171.5; X820.6 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)02-0084-05

Effects of forest belts with different widths on heavy metal content in rice leaf and brown rice in crop field on both sides of national road YANG Yi-ru^{1,2}, YIN Yun-long^{1,①}, XU He-bao¹ (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, **21**(2): 84-88

Abstract: Taking Huai'an section of No. 205 national road with 5 m and 20 m width forest belts as the research region, contents of Al, Fe, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni and Pb in rice leaf and brown rice (*Oryza sativa* L.) in crop field of 200 m range away from eastern and western road sides and the correlation between heavy metal content and distance away from road edge were analyzed. The results show that contents of most heavy metal elements in rice leaf and brown rice on both sides of the section with 5 m width forest belt have the decreasing trend with increasing of distance away from road edge and most peak values of them appear at nearby 5-10 m or 20 m away from road edge. In which, contents of Cu, Cr and Ni in rice leaf and contents of Al, Fe, Cu, Zn and Ni in brown rice on the eastern side, contents of Cu and Pb in rice leaf and contents of Cd and Pb in brown rice on the western side all have significantly or extremely significantly negative correlation with distance away from road edge. However, contents of most heavy metal elements in rice leaf and brown rice on both sides of the section with 20 m width forest belt have no decreasing trend with increasing of distance away from road edge and their peak values appear at over 20 m away from road edge. And only contents of Cr and Ni in rice leaf and contents of Fe and Ni in brown rice on the eastern side, contents of Al and Cu in brown rice on the western side have significantly or extremely significantly negative correlation with distance away from road edge. Comparing with the

收稿日期: 2011-05-23

基金项目: 江苏省自然科学基金重点资助项目(BK2006711-2)

作者简介: 杨奕如(1984—),女,江苏常州人,硕士,主要从事植物资源与生态环境方面的研究工作。

①通信作者 E-mail: xhh3027@jlonline.com

section without forest belt, distribution characteristics of contents of heavy metals in rice leaf and brown rice on both sides of the section with 5 m width forest belt are similar, but contents of heavy metals on both sides of the section with 20 m width forest belt are lower. It means that 20 m width forest belt has an obvious detention effect to atmospheric pollutant of road. According to these results, it is suggested that the shelter belt with structure model of arbor-shrub-herb should be set at 10–20 m area on both road sides, properly increase shrub proportion in the belt and keep appropriate density of trees.

Key words: both sides of road; forest belt; rice leaf; brown rice; heavy metal; spatial distribution; correlation analysis

公路林带对汽车尾气的扩散沉降具有阻滞和吸收净化作用,能有效减轻公路两侧农田土壤和农作物的重金属污染、缩小污染范围^[1]。徐永荣等^[2]的研究结果表明:路侧 150 m 范围内土壤中 3 种重金属含量均值由小至大依次为双行绿带区、单行绿带区、无绿带对照区;阮宏华等^[3]认为:要想达到防止 Pb 污染的目的,公路两侧林带宽度不应小于 40 m;王成等^[4]认为:40~60 m 宽林带对降低日流量 5~8 万辆汽车的高速公路重金属污染防治效果较好;唐乾若^[5]的调查显示:16 m 宽林带的防风效果优于 24 m 宽林带;傅抱璞^[6]根据林带对乱流交换的减弱作用,得出最适林带理论宽度为 9~28 m,也得出“窄林带的防护效益优于宽林带”的结果。然而,利用林带外侧农作物中重金属含量的空间分布特征评价公路防护效应的系统研究却少有报道。

作者对 205 国道两侧不同宽度林带外侧农田水稻叶片和糙米中 8 种重金属含量的空间分布特征进行了分析,并探讨了公路绿化林带对外侧农田农作物重金属污染的防护作用,以期确定公路林带适宜宽度和优化公路林带的绿化结构提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 样地选择

在调查江苏主要干线公路两侧农业生态现状的基础上,以交通较繁忙的 205 国道淮安段具有 5 m 和 20 m 宽林带的路段两侧 200 m 范围内成片水稻田为样地,且周围 1 km 以上范围内无工业源污染物排放。该路段的具体地理坐标为北纬 32°43′~34°06′、东经 118°12′~119°36′,南北走向,路基高约 1.5 m。路侧有不同宽度的意杨(*Populus euramevicana* ‘I-214’)林带分布;树龄大多在 10 a 以上,株距和行距均为 3 m,林相整齐,郁闭度约 0.7;平均树高 15 m,胸径 20 cm 左右,枝下高 5 m,林下无灌丛。

1.2 方法

1.2.1 样本的采集与预处理 在选定的路段统一布点,在垂直于公路两侧 200 m 范围内间隔一定距离设置样点。其中,5 m 宽林带路段的采样点为距两侧路基 5、10、20、40、60、80、100、150 和 200 m 处,共 18 个采样点;20 m 宽林带路段的采样点为距两侧路基 20、40、60、80、100、150 和 200 m 处,共 14 个采样点。

于 2007 年 10 月中旬水稻(*Oryza sativa* L.) 完熟期采集顶生 1 位和 2 位稻叶和成熟稻穗作为供试样品,并在每个样点与公路平行的地域以 20 m 左右的间距采集 4 个重复样品。将稻叶和稻穗用表面活性剂(洗衣粉)快速浸泡 10 s 后,经自来水清洗 30 s,去离子水清洗 30 s,沥去余水后置于 105 °C 烘箱内杀青 10 min,然后在 80 °C 条件下烘干至恒质量;将烘干的稻叶和糙米样品用泰斯特 FW100 高速万能粉碎机粉碎后装入自封袋并于常温下干燥保存。

1.2.2 重金属含量分析 参照文献[7]的方法,将水稻叶片和糙米样品分别用 HNO₃-HClO₄ 混合酸消解并定容后,用等离子体发射光谱仪(ICP-ES, OPTIMA 4300DV)分析样本中 Al、Fe、Cu、Zn、Cd、Cr、Ni 和 Pb 含量。在每批试样中抽取 20% 样本进行平行双样检测,并插入空白试剂(仅加混合酸不加样品)和标准质控样品(美国 SPEX CertiPrep 公司混合标样)进行监控。

1.3 数据统计和分析

采用 SPSS 16.0 统计软件对实验数据进行相关性分析。

2 结果和分析

2.1 5 m 宽林带路段两侧水稻叶和糙米中重金属含量的分布特征

205 国道 5 m 宽林带路段东西两侧农田稻叶和糙米中重金属含量的空间变化见表 1。由表 1 可见:

东侧农田稻叶中 Cu、Cr 和 Ni 含量以及糙米中 Al、Fe、Cu、Zn 和 Ni 含量变化与距路侧的距离呈显著或极显著负相关关系 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 而稻叶中 Pb 含量以及糙米中 Cr 含量分别与距路侧的距离呈极显著和显著的正相关关系; 稻叶中 Al、Cu、Zn、Cr 和 Ni 含量及糙米中 Fe、Cu、Zn、Cd、Ni 和 Pb 含量的峰值大多在距路侧 5 ~ 10 m 或 20 m 附近。西侧农田稻叶中 Cu 和 Pb 含量及糙米中 Cd 和 Pb 含量与距路侧的距离有显著或极显著的负相关性 ($P < 0.05$ 或

$P < 0.01$), 而糙米中 Zn 和 Ni 含量与距路侧的距离呈显著或极显著正相关; 稻叶中 Cu、Zn 和 Pb 含量及糙米中 Al、Cu、Cd 和 Pb 含量的峰值也在距路侧 5 ~ 10 m 或 20 m 附近。

分析结果说明: 在 5 m 宽林带防护条件下, 205 国道两侧公路大气污染物向道路两侧扩散沉降, 对外侧农田稻叶和糙米中的重金属含量有明显影响, 且对路侧附近农田的影响更明显。

表 1 205 国道 5 m 宽林带路段东西两侧农田中水稻叶片和糙米中重金属含量的比较 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Comparison of heavy metal content in leaf of *Oryza sativa* L. and brown rice in crop field on eastern and western sides of No. 205 national road with 5 m width forest belt ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

元素 Element	叶片 Leaf			糙米 Brown rice		
	平均含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Average content	R	D	平均含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Average content	R	D
路东侧 Eastern side of road						
Al	106.76±10.69	-0.234	5 m	1.31±0.30	-0.804 **	60 m
Fe	299.24±24.29	0.279	不明显 Un-obvious	11.50±2.96	-0.834 **	5-10 m
Cu	6.56±2.09	-0.918 **	5 m	3.83±0.72	-0.836 **	5 m
Zn	32.28±12.28	-0.358	20-40 m	19.00±5.60	-0.873 **	5 m
Cd	0.165±0.025	-0.353	不明显 Un-obvious	0.057±0.017	-0.270	20-60 m
Cr	7.31±1.31	-0.685 *	5-10 m	0.09±0.13	0.791 *	100-200 m
Ni	3.51±2.10	-0.724 *	5-10 m	0.48±0.39	-0.881 **	5 m
Pb	3.97±0.67	0.882 **	不明显 Un-obvious	0.25±0.11	-0.521	5 m
路西侧 Western side of road						
Al	119.14±33.91	0.274	不明显 Un-obvious	2.44±1.10	0.226	5 m
Fe	263.73±42.10	0.060	不明显 Un-obvious	12.61±7.10	0.100	不明显 Un-obvious
Cu	2.33±1.96	-0.871 *	5 m	3.50±0.63	-0.204	5 m
Zn	35.86±23.42	-0.380	10 m	16.31±3.10	0.747 *	不明显 Un-obvious
Cd	0.151±0.037	0.387	不明显 Un-obvious	0.052±0.010	-0.876 **	20 m
Cr	7.52±2.39	-0.153	不明显 Un-obvious	0.07±0.19	0.105	不明显 Un-obvious
Ni	2.18±0.51	0.124	不明显 Un-obvious	0.25±0.41	0.802 **	不明显 Un-obvious
Pb	3.54±0.86	-0.730 *	10 m	0.29±0.24	-0.854 **	5 m

¹⁾R: 重金属含量与路侧距离的相关系数 Correlation coefficient between heavy metal content and distance away from road edge; D: 峰值区与路侧的距离 Distance of peak value scope away from road edge. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.2 20 m 宽林带路段两侧水稻叶和糙米中重金属含量的分布特征

205 国道 20 m 宽林带路段东西两侧农田稻叶和糙米中重金属含量的空间变化见表 2。东侧稻叶中 Al、Fe、Cu、Zn 和 Pb 含量及糙米中 Al、Cu、Cd 和 Cr 含量与距路侧距离无显著相关性, 而稻叶中的 Cr 和 Ni 含量以及糙米中的 Fe 和 Ni 含量与距路侧的距离呈显著或极显著负相关关系, 稻叶中的 Cd 含量及糙米中的 Zn 和 Pb 含量与距路侧的距离呈极显著或显著正相关关系; 在距路侧附近 (20 m 内) 没有峰值出现, 部分重金属元素含量的峰值出现在距路侧 20 ~ 60 m

或 150 ~ 200 m 处。西侧稻叶中 Al、Fe、Cu、Zn、Cd、Cr 和 Ni 含量及糙米中 Fe、Zn、Cd、Cr、Ni 和 Pb 含量与距路侧的距离也没有显著相关性, 而稻叶中的 Pb 含量与距路侧的距离呈显著正相关关系, 糙米中的 Al 和 Cu 含量与距路侧的距离呈显著负相关关系; 在距路侧附近 (20 m 内) 各重金属元素的含量也没有峰值出现, 部分重金属元素含量的峰值出现在距路侧 20 ~ 60 m 或 150 m 附近。

分析结果说明: 20 m 宽林带已明显干扰了 205 国道公路大气污染物向路两侧扩散沉降的规律性, 使林带外侧附近农田的大气环境质量得到明显改善, 减小

表2 205国道20m宽林带路段东西两侧农田中水稻叶片和糙米中重金属含量的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 2 Comparison of heavy metal content in leaf of *Oryza sativa* L. and brown rice in crop field on eastern and western sides of No. 205 national road with 20 m width forest belt ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

元素 Element	叶片 Leaf			糙米 Brown rice		
	平均含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Average content	R	D	平均含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Average content	R	D
路东侧 Eastern side of road						
Al	48.15±12.89	0.086	不明显 Un-obvious	3.44±2.96	-0.163	40-60 m
Fe	151.61±24.80	-0.203	不明显 Un-obvious	14.46±6.01	-0.809 *	20-40 m
Cu	10.45±1.38	-0.312	不明显 Un-obvious	4.49±0.64	-0.051	不明显 Un-obvious
Zn	19.92±1.50	0.067	不明显 Un-obvious	21.23±2.57	0.963 **	150-200 m
Cd	0.142±0.045	0.943 **	150-200 m	0.057±0.012	-0.323	不明显 Un-obvious
Cr	6.89±1.56	-0.948 **	20-60 m	0.21±0.38	-0.602	20-40 m
Ni	1.96±0.41	-0.969 **	20 m	0.88±1.12	-0.775 *	20-40 m
Pb	1.98±0.36	-0.037	不明显 Un-obvious	0.07±0.07	0.767 *	150-200 m
路西侧 Western side of road						
Al	41.50±8.94	-0.694	20 m	6.52±3.06	-0.808 *	40 m
Fe	123.03±13.20	-0.052	不明显 Un-obvious	12.19±2.17	-0.360	20 m
Cu	7.38±3.51	-0.403	20 m	3.17±0.83	-0.831 *	20 m
Zn	19.46±4.88	-0.289	60 m	23.41±3.83	0.564	不明显 Un-obvious
Cd	0.181±0.054	-0.301	40 m	0.035±0.010	0.498	不明显 Un-obvious
Cr	6.28±1.06	0.054	不明显 Un-obvious	-	-	-
Ni	1.73±0.23	-0.372	不明显 Un-obvious	0.42±0.14	-0.349	60-80 m
Pb	1.49±0.32	0.764 *	150 m	0.16±0.07	-0.108	不明显 Un-obvious

¹⁾R: 重金属含量与路侧距离的相关系数 Correlation coefficient between heavy metal content and distance away from road edge; D: 峰值区与路侧的距离 Distance of peak value scope away from road edge. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$. -: 未检出 Undetected.

了稻叶或糙米中重金属含量峰值在路侧附近(20 m内)出现的机率。

3 讨论和结论

公路防护林带对汽车尾气有阻滞作用,植物通过叶片上的气孔和枝条上的皮孔将大气中的Pb、Cd等污染物吸入体内,并通过氧化还原过程将其变成无毒形式,或通过根系排出体外,或积累于某一器官内。植物对环境污染物的吸收、降解、积累和排出作用可有效地阻碍重金属颗粒物,使颗粒物在树木附近沉降,对公路旁土壤和环境的重金属污染具有很好的防护作用,能有效降低污染程度、缩小污染范围^[8-9]。

205国道5m宽林带路段两侧农田稻叶和糙米中大多数重金属元素含量的空间分布具有随距路侧距离增加而递减的趋势,而且大部分重金属元素的含量峰值也处在距路侧5~10m或20m附近,这与该国道无林带路段两侧农田稻叶和糙米中的重金属含量空间分布特征^[10]十分相似。205国道两侧5m宽林带的树木行数较少、带幅较窄,加之林下无灌木,从而形成疏透和通风结构,由于树冠层通透性较大、林带

结构较差,致使公路大气污染物向两侧扩散沉降,对外侧农田稻叶和糙米中重金属含量具有明显影响,说明窄林带对公路大气污染的扩散沉降没有明显的干扰、阻滞和净化作用。本研究结果与陈建安等^[11]的研究结果较为一致,即:作物中重金属含量最高点在距离路侧10~20m处,表明公路大气污染物的扩散沉降对路侧附近农作物中重金属含量的影响较明显。鉴于此,建议在路侧10~20m地域设置防护林带。

205国道20m宽林带两侧农田水稻叶片和糙米中大部分重金属元素的含量变化没有呈现出随路侧距离增加而递减的规律性,且大部分重金属元素的含量峰值也不在路侧附近(20m内),表明20m宽林带对205国道汽车尾气的扩散沉降有较明显的防护作用。与无林带路段^[10]相比,205国道20m林带路段东侧稻叶中Al、Fe、Zn、Cd、Ni和Pb含量以及西侧稻叶中Al、Fe、Cr和Ni含量和糙米中Fe、Cu、Cd、Cr、Ni和Pb含量均较低,进一步说明路侧20m宽林带对公路大气污染物的扩散沉降有较好的防护作用。本研究中,205国道20m宽林带路段东侧水稻叶片中Cr和Ni含量、糙米中Fe和Ni含量以及西侧水稻糙米中Al和Cu含量均呈随路侧距离增加而递减的趋势,这

一现象可能是由于该样地树种和冠层结构单一,意杨种植密度较大,自然整枝明显,植株向上徒长,冠层枝叶不茂密,枝下高较高(达5 m左右),使下层形成小风洞效应,致使两侧农田作物中的重金属含量受到公路环境污染的影响。

绿化树种单一是当前园林绿化发展亟需解决的矛盾之一^[12],而灌乔比是反映绿化层次结构的一个重要因子。殷云龙等^[13]的调查统计结果显示:江苏全省公路绿化系统树种结构中灌乔比偏低,苏北灌乔比明显低于苏南,因而,应大力增加公路防护林带中灌木的比重,使灌木量高于乔木量,以提高绿化系统的层次性和空间利用率。周军莉等^[14]也认为林带的防护效应与林带结构特征紧密相连。因此,在公路林带的结构配置上,防护林带应采取乔灌草相结合的结构模式,适当提高灌木比例,使乔木疏密适度,从而形成稳定的复层林带结构,增强林带对汽车尾气扩散沉降的防护效果。

参考文献:

- [1] 石元值,马立峰,韩文炎,等. 汽车尾气对茶园土壤和茶叶中铅、铜、镉元素含量的影响[J]. 茶叶, 2001, 27(4): 21-24, 34.
- [2] 徐永荣,冯宗炜,王春夏,等. 绿带对公路两侧土壤重金属含量的影响研究[J]. 湖北农业科学, 2002(5): 75-77.
- [3] 阮宏华,姜志林. 城郊公路两侧主要森林类型铅含量及分布规

律[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 362-364.

- [4] 王成,鄧光发,杨颖,等. 高速路林带对车辆尾气重金属污染的屏障作用[J]. 林业科学, 2007, 43(3): 1-7.
- [5] 唐乾若. 华北地区农田防护林规划设计的商榷[J]. 林业科学, 1965(2): 140-147.
- [6] 傅抱璞. 论林带结构与防护效能[J]. 南京大学学报:自然科学版, 1963(Z1): 109-120.
- [7] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986.
- [8] 江苏省植物研究所. 城市绿化与植物保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1977.
- [9] 薛皎亮,刘红霞,谢映平. 城市空气中铅在国槐树体内的积累[J]. 中国环境科学, 2000, 20(6): 536-539.
- [10] 杨奕如,殷云龙,於朝广,等. 205国道两侧农田土壤和水稻叶片及糙米中重金属含量的空间分布特征[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(2): 73-79.
- [11] 陈建安,林健,兰天水,等. 山区公路边土壤铅污染水平及其分布规律研究[J]. 海峡预防医学杂志, 2001, 7(2): 5-8.
- [12] 杨学军,唐东芹,钱虹妹,等. 上海城市绿化利用树种资源的现状与发展对策[J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(4): 30-33.
- [13] 殷云龙,徐建华,张光宁,等. 江苏公路绿地系统的树种结构与发展水平评价[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(3): 46-52.
- [14] 周军莉,王元,徐忠. 不同类型林带防护效应的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 201-204.

(责任编辑:佟金凤)

(上接第72页 Continued from page 72)

- [17] LU T, HE X Y, CHEN W, et al. Effects of elevated O₃ and/or elevated CO₂ on lipid peroxidation and antioxidant systems in *Ginkgo biloba* leaves[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2009, 83: 92-96.
- [18] YAN K, CHEN W, HE X Y, et al. Responses of photosynthesis, lipid peroxidation and antioxidant system in leaves of *Quercus mongolica* to elevated O₃[J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 69: 198-204.
- [19] NEILL S J, DESIKAN R, CLARKE A, et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plant[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53: 1237-1247.
- [20] YOSHIDA M, NOUCHI I, TOYAMA S. Studies on the role of active oxygen in ozone injury to plant cells. I. Generation of

active oxygen in rice protoplasts exposed to ozone[J]. Plant Science, 1994, 95: 197-205.

- [21] YAMAUCHI N, MINAMIDE T. Chlorophyll degradation by peroxidase in parsley leaves[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1985, 54(2): 265-271.
- [22] 张巍巍,郑飞翔,王效科,等. 大气臭氧浓度升高对水稻叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2485-2489.
- [23] 黄玉源,黄益宗,李秋霞,等. 臭氧对南方3种木本植物的急性伤害症状及其生理指标变化[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 674-681.
- [24] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 84-90.

(责任编辑:惠红)