

武汉东湖颗粒有机碎屑碳、氮、磷的沉降速率*

林婉莲 刘鑫洲

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

提要 1983—1984年, 测定了东湖水柱总沉降颗粒有机物中的碳、氮、磷、叶绿素 a 含量和浮游动物数量, 以及该湖浮游动物、植物优势种的干重/湿重、C/N 及 C/P 比值。利用所得数值计算出其颗粒有机碎屑的沉降速率。东湖这两年的颗粒有机碎屑的沉降速率 [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$], I 站分别为 10.67 与 10.97 (碳), 2.15 与 2.68 (氮) 及 0.29 与 0.30 (磷); II 站分别为 10.35 与 7.26 (碳), 2.17 与 1.12 (氮) 及 0.22 与 0.16 (磷)。与水柱浮游植物净生产量相比, 这两年有机碎屑碳的沉降量, I 站仅占 1.96% 与 2.39%, II 站占 1.36% 与 0.93%。

颗粒有机碎屑是生态系统营养结构的一个重要成分。它既是异养微生物赖以生存的基质, 也是某些次级生产者的直接食料。因此, 颗粒有机碎屑的动向, 与生态系统的群落动态关系密切。研究颗粒有机碎屑的沉降速率, 是了解生态系统营养或能量收支的一个不可忽视的环节。在 1982 年测定沉降物有机碳^[1]的基础上, 1983—1984 年进一步从碳、氮、磷的角度测定东湖 I, II 站颗粒有机碎屑的沉降速率。国外类似的工作, 多属深水湖泊, 浅水湖泊也有报道^[4,5,6,9], 但同时报道沉降物的碳、氮、磷含量的工作不多, 国内尚为空白。

一、方法与结果

1. 东湖水柱颗粒有机碎屑的定量测定

样品的采集用悬挂式沉降物采样器^[1]。每月采样 1—2 次, 每次悬挂采样器 8 小时, 采沉降物 10 瓶。其中 6 瓶用盐酸处理, 使其 $\text{pH} = 1-2$, 以去掉 CaCO_3 或 MgCO_3 , 然后分作两组平行样以供沉降物中总颗粒有机碳、氮和磷的分析; 另 3 瓶不加酸, 用作叶绿素 a 测定; 余下 1 瓶用 Lugol 氏液固定以供浮游动物计数用。因为沉降物采样器悬挂 8 小时, 故 3 瓶沉降物可视作 24 小时的量。浮游动物只计算 1 瓶的数量, 所得数值乘以 3, 代表 24 小时的数值。

用 Whatman GF/C 玻璃纤维滤膜抽滤颗粒物以供叶绿素 a 测定; 用 HA Millipore ($0.45 \mu\text{m}$) 滤膜抽滤颗粒物供碳、氮、磷含量分析。

有机碳和有机氮分析用 CARLO ERBA 元素分析仪。有机磷则先用 Slanina 等人的微量有机磷消解法处理^[7], 然后用钼蓝比色法以 751 型分光光度计测定。沉降物中的

* 闻根芳、陈荣耀两位同志承担了全部碳、氮分析工作; 沈福芬、裘循矩两位同志在原动物鉴定上曾给予指导, 特此致谢。

收稿日期: 1987 年 2 月 10 日。

叶绿素 a 用 90% 酒精抽提,然后用分光光度计测定^[2]。

颗粒有机碎屑的沉降量,从总沉降物量与沉降浮游生物活体物质之差求得。

2. 优势浮游植物各种成分测定

在 1983—1984 年东湖各种浮游植物水华出现的特定时期,用 25 号筛网在水表捞取水华,随即移入烧杯,置冰箱内静置,使浮游动物下沉而与浮游植物分离。根据干重/湿重比率测定、叶绿素 a 测定和碳、氮、磷测定的要求,在解剖镜下用解剖针分别挑取出测定所需要的浮游植物量^[2]。

3. 浮游动物优势种碳、氮、磷含量分析

在东湖浮游动物优势种的高峰期,选取枝角类、桡足类、轮虫和原生动物几个种,以及

表 1 东湖水柱颗粒有机物沉降速率 [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]

Tab. 1 Sedimentation rate of the particulate organic matter (POM) in Donghu Lake, Wuhan [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]

年份 站别 颗粒成分	1982		1983		1984	
	I 站	II 站	I 站	II 站	I 站	II 站
总颗粒有机物(干)	391.78	341.63	168.55	155.97	186.91	98.13
总颗粒有机碳	23.55	24.57	15.81	14.11	15.22	9.52
颗粒有机碎屑碳	18.65	23.03	10.67	10.35	10.98	7.26
颗粒有机碎屑氮	—	—	2.15	2.17	2.68	1.12
颗粒有机碎屑磷	—	—	0.29	0.22	0.30	0.16

表 2 东湖水柱沉降物浮游植物活体碳、氮、磷量

Tab. 2 Contents of carbon, nitrogen, phosphorus in living phytoplankton in the settled matter, in Donghu Lake, Wuhan

年 份	季 节	I 站				II 站			
		chl. a	C	N	P	chl. a	C	N	P
1983	春	64.06	3.48	0.68	0.07	37.27	2.06	0.40	0.04
	夏	45.51	2.50	0.49	0.05	55.94	3.05	0.60	0.07
	秋	51.38	2.83	0.55	0.06	42.24	2.32	0.45	0.05
	冬	14.07	0.82	0.16	0.02	6.90	0.44	0.09	0.01
1984	春	24.33	1.37	0.27	0.03	9.07	0.56	0.11	0.01
	夏	62.42	3.40	0.67	0.07	55.65	3.04	0.59	0.07
	秋	43.31	2.38	0.47	0.05	61.58	3.35	0.66	0.07
	冬	30.30	1.67	0.33	0.04	14.70	0.86	0.17	0.02

注: chl. a: $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; C, N, P: $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

一些种的不同龄期进行碳、氮、磷量分析。具体方法见参考文献[3]。

武汉东湖水柱颗粒有机物的沉降速率(见表 1),在两年间 I 站几乎无变化,但在 II

站, 1984 年与 1983 年相比, 碳和磷下降了约 30%, 氮下降了约 50%。

1983—1984 年东湖浮游植物水华的干重/湿重比为 0.2032, C/N 为 5.1033, C/P 为 46.5391, 有机碳与叶绿素 a 的相应关系式为 $C = 74.06 + 53.21 \text{ chl. a}$ 。同期内东湖水柱沉降物中的叶绿素 a 量, 利用上述各种数值, 换算成碳、氮、磷量, 见表 2。沉降物中叶

表 3 东湖优势浮游动物各种成分比较

Tab. 3 Comparison of some components in dominant zooplankters in Donghu Lake, Wuhan

类 别	C(%)	N(%)	P(%)	个体重/个体碳	C/N	C/P
透明蚤 <i>Daphnia hyalina</i>	44.63	9.04	1.56	2.25	4.96	28.92
透明薄皮蚤 <i>Leptodora kindtii</i>	49.05	12.69	1.59	2.06	3.92	32.98
特异荡镖水蚤 <i>Neurodiaptomus incongruens</i>	45.79	13.27	0.86	2.19	3.60	93.12
轮虫 <i>Rotifera</i> (4 species)	43.02	13.92	2.03	2.46	3.11	22.23
原生动物 <i>Protozoa</i> (2 species)	50.01	16.75	3.38	2.07	2.99	15.07

表 4 东湖水柱沉降物浮游动物活体碳、氮、磷量 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

Tab. 4 Contents of carbon, nitrogen, phosphorus in living zooplankters in the settled matter in Donghu Lake, Wuhan [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

年 份	季 节	I 站			II 站		
		C	N	P	C	N	P
1983	春	8.15	2.39	0.22	5.98	1.63	0.22
	夏	18.57	6.20	0.65	8.48	2.83	0.22
	秋	15.82	5.05	0.55	9.89	3.73	0.44
	冬	4.22	1.22	0.11	1.56	0.44	0.11
1984	春	4.46	1.30	0.11	1.85	0.65	0.01
	夏	15.87	4.89	0.43	5.43	1.96	0.22
	秋	13.96	4.51	0.44	6.04	2.20	0.22
	冬	4.00	1.33	0.11	3.33	1.22	0.11

绿素 a 的量并不与水柱浮游植物生产量成正比 (见表 2 与表 7)。

浮游动物优势种碳、氮、磷含量及其比率见表 3。根据表 3 各种数值, 计算出东湖水柱同期沉降物内浮游动物活体碳、氮、磷含量 (表 4)。

把沉降的浮游植物和浮游动物碳量折合成以 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 为单位, I 站浮游植物两年分别为 0.88 与 0.8, 浮游动物分别为 4.27 及 3.49; II 站浮游植物两年分别为 0.72 与 0.71,

浮游动物分别为 2.36 与 1.52。大体上浮游植物占颗粒有机碎屑的 10% 以下。浮游生物的沉降没有十分明显的规律。

有机碎屑碳、氮、磷日沉降量见图 1。同一年份内, I, II 站颗粒有机碎屑的日沉降量有其基本相似的模式。

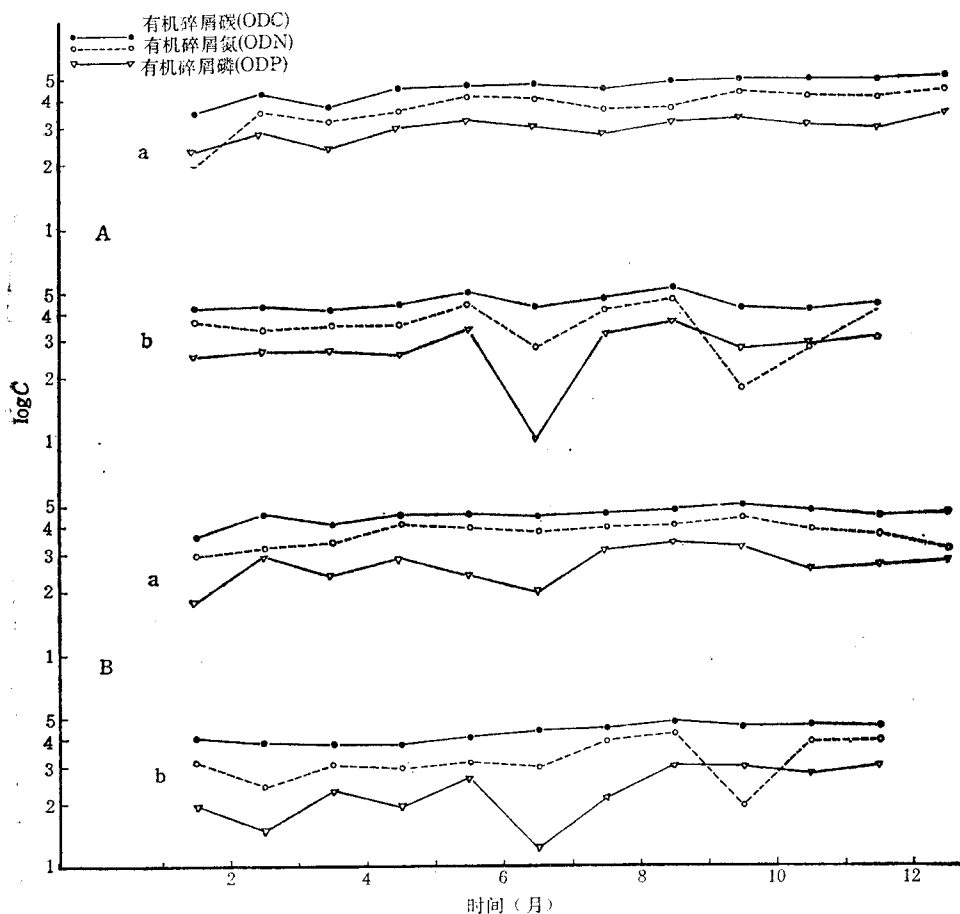


图 1 武汉东湖水柱沉降有机碎屑碳、氮、磷含量分布 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

Fig. 1 Distribution of C, N, P contents of the organic detritus in the settled matter, in Donghu Lake, Wuhan.

A. I 站; B. II 站。 a. 1983 年; b. 1984 年。

沉降有机碎屑的 C/N, C/P 及 N/P 比值, 各季并不一致(见表 5), 这说明所沉降的碎屑碳、氮、磷量并没有固定的比例, 反映出浮游生物种群结构各季不同。从各季平均数字看, I 站这两年内有机碎屑的 C/N, C/P 及 N/P 比值差别不大, 这两年内该站颗粒有机碎屑沉降量也基本不变; II 站颗粒有机碎屑的 C/N, C/P 及 N/P 比值这两年变化较大, 其沉降量变化也大, 显然, 三者的比值与颗粒有机碎屑沉降量是正相关的。

沉降颗粒有机碎屑碳、氮、磷之和与沉降颗粒有机物干重之比的平均值, 1983, 1984 年分别约为 31% 与 27% (I 站) 及 29% 与 35% (II 站)。与水柱浮游植物净生产量碳相

比, 沉降的有机碎屑碳占的百分数不大, I 站分别平均为 1.96% 及 2.39%, II 站分别只占 1.36% 与 0.93% (表 6 及图 2)。

表 5 东湖水柱沉降有机碎屑碳、氮、磷比值

Tab. 5 Ratios of carbon, nitrogen, phosphorus in the settled organic detritus, in Donghu Lake, Wuhan

年份	季节	I 站			II 站		
		C/N	C/P	N/P	C/N	C/P	N/P
1983	春	3.93	28.00	7.07	4.13	60.21	14.59
	夏	7.30	41.22	5.65	4.97	34.52	6.95
	秋	4.56	47.72	10.45	4.95	66.00	13.32
	冬	4.55	25.62	5.63	5.56	43.38	7.81
	平均	5.09	35.64	7.20	4.90	51.03	10.67
1984	春	4.50	41.26	9.17	7.04	11.41	1.62
	夏	3.49	36.75	10.53	5.10	97.63	19.14
	秋	4.28	21.64	5.05	7.75	43.88	5.66
	冬	5.71	48.81	8.40	10.15	125.20	12.34
	平均	4.50	37.12	8.29	7.51	69.53	9.69

表 6 东湖水柱沉降有机碎屑碳、氮、磷量与干物总量[$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

Tab. 6 Comparison between settled organic detrital carbon, nitrogen, phosphorus and total organic matter in Donghu Lake, Wuhan

年份	季节	I 站			II 站		
		干物总量	C+N+P	$\frac{C+N+P}{\text{干物(总)}}(\%)$	干物总量	C+N+P	$\frac{C+N+P}{\text{干物(总)}}(\%)$
1983	春	297.83	108.15	36.30	334.24	94.89	28.38
	夏	441.53	173.59	39.32	377.17	139.46	36.98
	秋	683.85	210.11	30.72	546.26	184.95	33.86
	冬	428.00	74.44	17.40	453.67	79.67	17.56
	平均			30.94			29.20
1984	春	466.74	145.98	35.03	75.98	32.72	43.06
	夏	1029.35	238.59	12.70	451.20	130.76	28.98
	秋	383.63	94.73	24.70	452.97	126.15	27.85
	冬	211.00	75.67	35.84	93.56	39.22	41.92
	平均			27.07			35.45

有机碎屑沉降量并不与浮游植物净生产量成正比。例如 1983 年 I 站秋季浮游植物净生产量 (gC/m^2) 为 84.04, 而有机碎屑沉降量 (gC/m^2) 为 4.00。同年同季 II 站, 浮游植物净生产量为 214.50, 而其有机碎屑沉降量却是 3.68, 与 I 站同季的沉降量相差很微。见表 7。

表 7 东湖水柱浮游植物净生产量与沉降有机碎屑 (gC/m²)

Tab. 7 The Relation between the net phytoplankton production and the settled organic detritus (gC/m²)

年 份	季 节	I 站			II 站		
		浮游植物净生产量	沉降有机碎屑	沉降有机碎屑 / 浮游植物净生产量 (%)	浮游植物净生产量	沉降有机碎屑	沉降有机碎屑 / 浮游植物净生产量 (%)
1983	春	185.67	1.77	0.95	217.68	1.90	0.87
	夏	452.70	2.87	0.64	590.72	2.89	0.49
	秋	84.04	4.00	4.76	214.50	3.68	1.72
	冬	136.17	2.03	1.48	79.61	1.88	2.36
	平均	214.65	2.67	1.96	275.63	2.59	1.36
1984	春	140.76	3.57	2.54	152.51	0.69	0.45
	夏	459.87	4.76	1.04	448.85	2.97	0.66
	秋	86.79	1.06	1.22	214.26	2.87	1.34
	冬	33.46	1.59	4.75	57.89	0.73	1.26
	平均	180.22	2.75	2.39	218.38	1.82	0.93

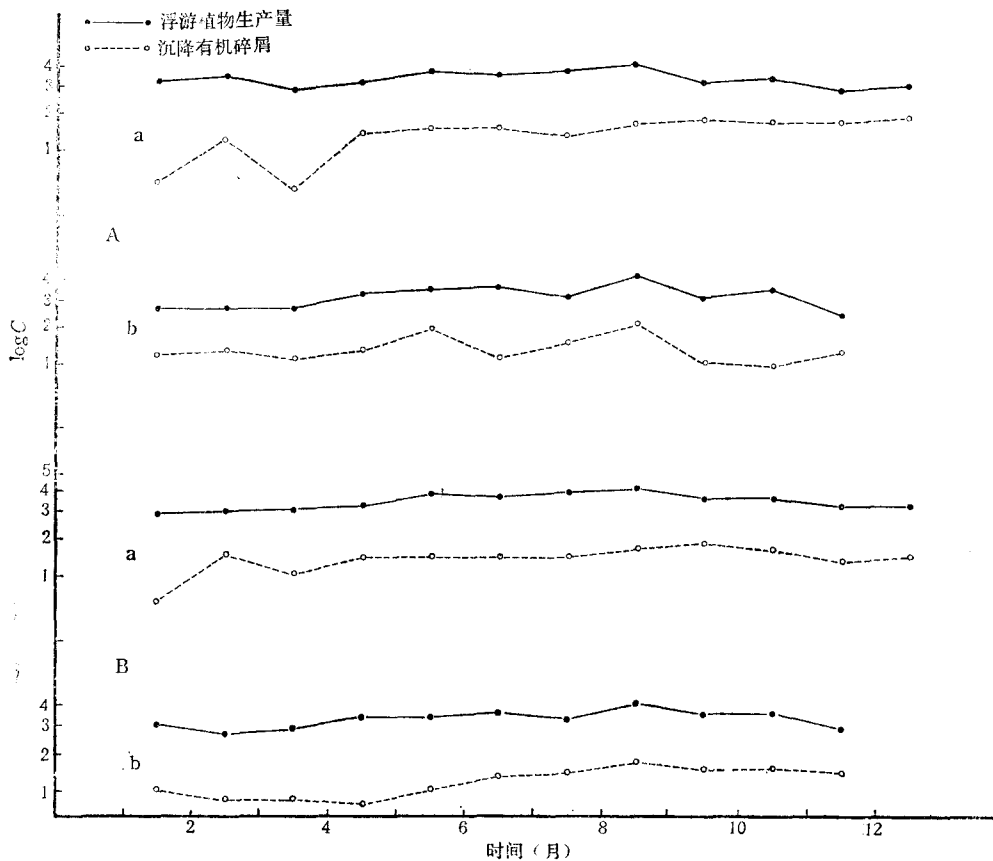


图 2 武汉东湖水柱沉降有机碎屑与浮游植物生产量 (mg C/m²)

Fig. 2 The relation between the particulate organic detritus and the phytoplankton production in Donghu Lake, Wuhan (mg C/m²)

A. I 站; B. II 站。 a. 1983 年; b. 1984 年。

二、讨 论

水体有机物的沉降速率指的是在正常情况下的自然沉降速率。浅水湖泊受地理环境影响，湖泥容易重新悬浮，会影响这种自然沉降速率，对此作者早已注意并曾作详细讨论^[1]。为避免风浪引起的湖泥重新悬浮作用，本工作在基本无风天气下挂瓶采样，除雨季地表径流带来的物质外，采得样品为微黄带绿色，显示为新沉降物。浮游生物的昼夜迁移活动，并不影响颗粒有机碎屑的沉降量，因为所采得的量是现存量，而活体物质的沉降量在计算中是被扣除了的。8 小时挂瓶采样的方法是可行的。

本工作定量抽滤用的滤膜孔径在 $0.45\mu\text{m}$ 以上，水中细菌绝大部分已滤掉，沾附在颗粒物上的细菌量，只占整个颗粒有机碎屑总量的一小部分^[8]，可忽略。

在这两年内，东湖蓝藻水华大量出现，产生的颗粒碎屑量不少，但其沉降速率与浮游植物净生产量相比，仅占 1% 左右。有机碎屑是随着藻类的死亡、分解而出现的。藻类的死亡率越高，有机碎屑量越大。在水体中没有次级生产者牧食的情况下，颗粒有机碎屑便大量下沉到湖底^[9]，为底栖的次级生产者所利用。由于东湖是渔业生产基地，放养的鲢、鳙不断地大量反复滤食浮游植物及其碎屑，加上东湖浮游动物生物量也大，也在不断地牧食浮游植物及其碎屑，绝大多数有机颗粒在水柱中已被分解或直接食用，可沉降的颗粒物自然少，这是有机碎屑沉降速率不大的原因。

参 考 文 献

- [1] 林婉莲、刘鑫洲，1985。武汉东湖水柱沉降物有机碎屑碳测定初报。海洋与湖沼 **16**(6): 488—494。
- [2] 林婉莲、刘鑫洲，1985。武汉东湖浮游植物各种成分分析与沉淀物中浮游植物活体碳氮磷的测定。水生生物学集刊 **9**(4): 359—363。
- [3] 林婉莲、刘鑫洲，1985。武汉东湖优势浮游动物元素分析。水生生物学集刊 **9**(3): 258—263。
- [4] Gasith, A., 1976. Seston dynamics and tripton sedimentation in the pelagic zone of a shallow eutrophic lake. *Hydrobiologia* **51**(3): 225—231.
- [5] Fallon, R. D. and T. D. Brock, 1980. Planktonic blue-green algae: production, sedimentation, and decomposition in Lake Menoota, Wisconsin. *Limnol. Oceanogr.* **25**(1): 72—88.
- [6] Saunders, G. W., 1972. The transformation of artificial detritus in lake water. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* **29**(Suppl.): 261—288.
- [7] Slanina, J., P. C. M. Frintrop, J. F. Mansveld, and B. Giepink, 1970. The potentiometric end-point detection. *Mikrochemica Acta* (wein): 52—57.
- [8] Wetzel, R. G., 1983. *Limnology*, 2nd Edit. CBS College Publishing, The Dryden Press, pp. 140.
- [9] White, W. S. and R. G. Wetzel, 1975. Nitrogen, phosphorus, particulate and colloidal carbon content of sedimenting seston of a hard-water lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **19**: 330—339.

SEDIMENTATION RATES OF PARTICULATE ORGANIC DETRITAL CARBON, NITROGEN AND PHOSPHORUS IN DONGHU LAKE, WUHAN

Lin Wanlian and Liu Xinzhou

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

ABSTRACT

An investigation for measuring the sedimentation rates of particulate organic detrital carbon, nitrogen, as well as phosphorus, was carried out in the Donghu Lake, Wuhan from January, 1983 to November, 1984. During this two-year period, the contents of carbon, nitrogen, phosphorus and chlorophyll a in the settled organic matter were investigated, and the ratios of dry wt./wet wt., C/N, and C/P of the dominant plankters were measured. The sedimentation rate of POD in terms of carbon, nitrogen and phosphorus were calculated.

The sedimentation rates of POD [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] of the Lake, 1983—1984, Station I, are 10.67 and 10.97 (C), 2.15 and 2.68 (N), 0.29 and 0.30 (P); Station II, are 10.35 and 7.26 (C), 2.17 and 1.12 (N), 0.22 and 0.16 (P), respectively in sequence of the years.

Comparing to the net phytoplankton production carbon, the particulate organic detrital carbon accounts for only a small percentage, they are 1.96% and 2.39% (Station I), and 1.36% and 0.93% (Station II).