

# 2017.6-2018.4 水洞沟水库藻类及水质变化分析研 究报告

中国科学院生态环境研究中心

二〇一八年七月八日

# 目录

第一章	研究背景与方案 .....	4
1.1	研究背景与目的 .....	4
1.2	研究方案 .....	4
第二章	调查结果 .....	6
2.1	字段与单位说明 .....	6
2.2	样品信息 .....	6
2.3	藻类检测结果 .....	8
2.4	水质指标检测结果 .....	14
第三章	分析与讨论 .....	16
3.1	水体变绿问题 .....	16
3.2	藻类可能引起的其他水质问题 .....	16
第四章	结论与建议 .....	17

# 图目录

图 1 水洞沟水库采样点设置图 .....	4
图 2 藻类镜检图片 .....	8
图 3 藻类镜检图片 .....	9
图 4 藻类镜检图片 .....	10
图 5 藻种云图 .....	11
图 6 藻类生物量、细胞密度及多样性的季节变化 .....	13
图 7 优势种季节变化---以密度计(a), 以生物量计(b) .....	13
图 8 各采样点藻种密度 .....	14
图 9 各深度藻种密度 .....	14
图 10 藻类种群及水质参数动态变化(a)及相关性分析(b) .....	15

# 表目录

表 1 字段与单位说明.....	6
表 2 所有样品信息表.....	6
表 3 生态学指数总表.....	11



# 第一章 研究背景与方案

## 1.1 研究背景与目的

水洞沟水库作为饮用水水源地，水质的好坏直接影响到水厂的供水水质，受到供水部门的高度关注。2017年4月以来，水厂运行人员发现，水洞沟水库中鱼苗剧增，且在配水井及高密池都发现了小鱼。同时，水库水质呈现轻微泛绿，可能与水体藻类的增殖有关。

为进一步加深了解水库水质状况及其潜在的水质问题，本研究重点对水库中有害藻类种群分布展开研究，掌握其季节和空间变化规律及其对水质产生的危害，初步解析驱动有害藻生长主要机理，最终提出针对性的应对处置方案。

## 1.2 研究方案

### 1.2.1 采样方案

水洞沟水库的采样点设定如图1所示，分别在主坝西 SD01 (表层 0.5m 和 3 m), 主坝东 SD02 (表层) 和 尾坝东 SD03 (表层) 三个点位采样，采样频率为 1-2 次/月。



图1 水洞沟水库采样点设置图

### 1.2.2 样品采集及分析方法

现场采样：每一个位点采集水样 2L，记录采样点位的透明度、浊度、水温、pH、溶解氧。

藻类计数：取 100 ml 水样，加入 1 mL 鲁格试剂，在显微镜下计数。

臭味闻测：取 250 ml 水样不加任何试剂，进行臭味测定（FPA 法），分析水样的臭味类型和强度。

臭味物质分析：取 100 ml 水样加入氯化汞固定(终浓度 100ug/L)，用 SPME+GC-MS 定性定量分析水体中的臭味物质。

TN/TP 测定：取 500ml 水样不加任何试剂，用于 TN/TP 测定。

藻及细菌收集：用 1.2  $\mu\text{m}$  膜尽量多的过滤水样并准确记录过滤液体积（收集藻类），滤后液再用 0.22  $\mu\text{m}$  膜过滤并准确记录过，滤液体积（收集细菌），将收集的滤膜分别保存于 1.5 ml 离心管中，-20 度下保存。用于后续可能的基因分析。

# 第二章 调查结果

## 2.1 字段与单位说明

本报告中涉及的字段含义及其单位说明如下。

表 1 字段与单位说明

字段	含义	单位
id	样品 ID	-
date	采样日期	-
site	采样点标识	-
depth	采样深度	m
重复号	样品重复检测序号	-
phytaen	Phyta	-
taxa	藻种	-
genusen	Genus	-
speciesen	Species	-
phytacn	门	-
genuscn	属	-
speciescn	种	-
conc	细胞密度	万个细胞/L
biomass	生物量	uL/L
tconcper	细胞密度比例	%
tbiomassper	生物量比例	%
NA	缺失数据	-

## 2.2 样品信息

本报告共包含 46 个样品,其相关信息如下表所示。

表 2 所有样品信息表

项目 ID	采样日期	采样点	名称	深度	重复号	项目分类
SDG170427	2017/4/27	SD04	水洞沟配水井	0.5	1	水洞沟水库
SDG170603	2017/6/3	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG170603	2017/6/3	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG170603	2017/6/3	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG170827	2017/8/27	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG170827	2017/8/27	SD01	主坝西	5	1	水洞沟水库

SDG170827	2017/8/27	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG170827	2017/8/27	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171003	2017/10/3	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG171003	2017/10/3	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG171003	2017/10/3	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171003	2017/10/3	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171025	2017/10/25	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG171025	2017/10/25	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG171025	2017/10/25	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171025	2017/10/25	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171109	2017/11/9	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG171109	2017/11/9	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG171109	2017/11/9	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171109	2017/11/9	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171125	2017/11/25	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG171125	2017/11/25	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG171125	2017/11/25	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171125	2017/11/25	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171209	2017/12/9	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG171209	2017/12/9	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG171209	2017/12/9	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171209	2017/12/9	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171225	2017/12/25	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG171225	2017/12/25	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG171225	2017/12/25	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180109	2018/1/9	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG180109	2018/1/9	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG180109	2018/1/9	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180109	2018/1/9	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180126	2018/1/26	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG180126	2018/1/26	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG180126	2018/1/26	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180126	2018/1/26	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180308	2018/3/8	SD01	主坝西	3	1	水洞沟水库
SDG180308	2018/3/8	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180310	2018/3/10	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG180401	2018/4/1	SD01	主坝西	0.5	1	水洞沟水库
SDG180401	2018/4/1	SD01	主坝西	3.5	1	水洞沟水库
SDG180401	2018/4/1	SD02	主坝东	0.5	1	水洞沟水库
SDG180401	2018/4/1	SD03	尾坝东	0.5	1	水洞沟水库

## 2.3 藻类检测结果

### 2.3.1 藻种检出情况

所有已检测样品中，共检测到 47 个藻属，分属于蓝藻、绿藻、硅藻、甲藻、隐藻、金藻和裸藻七个门类。藻类镜检图片如图 2-4 所示。

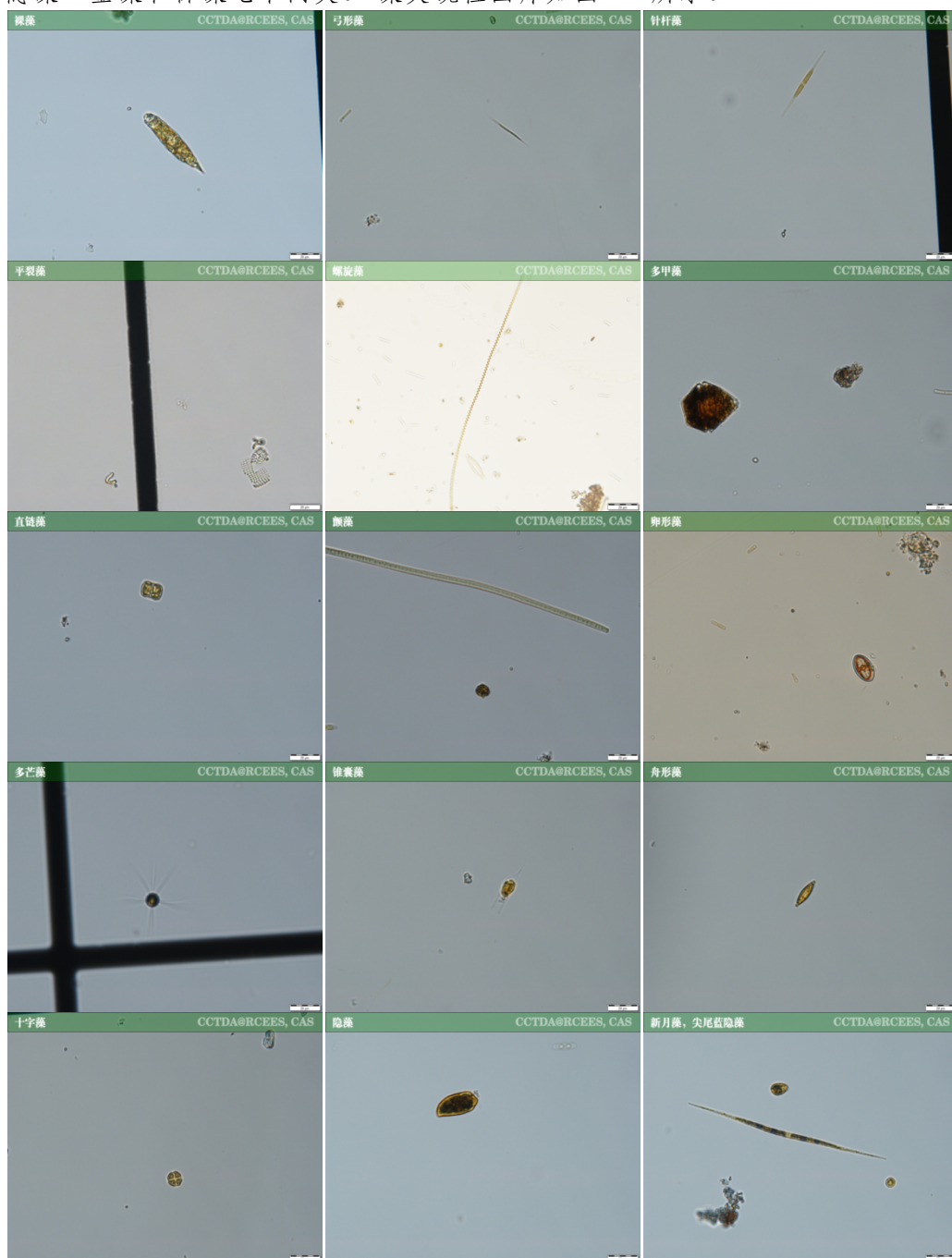


图 2 藻类镜检图片



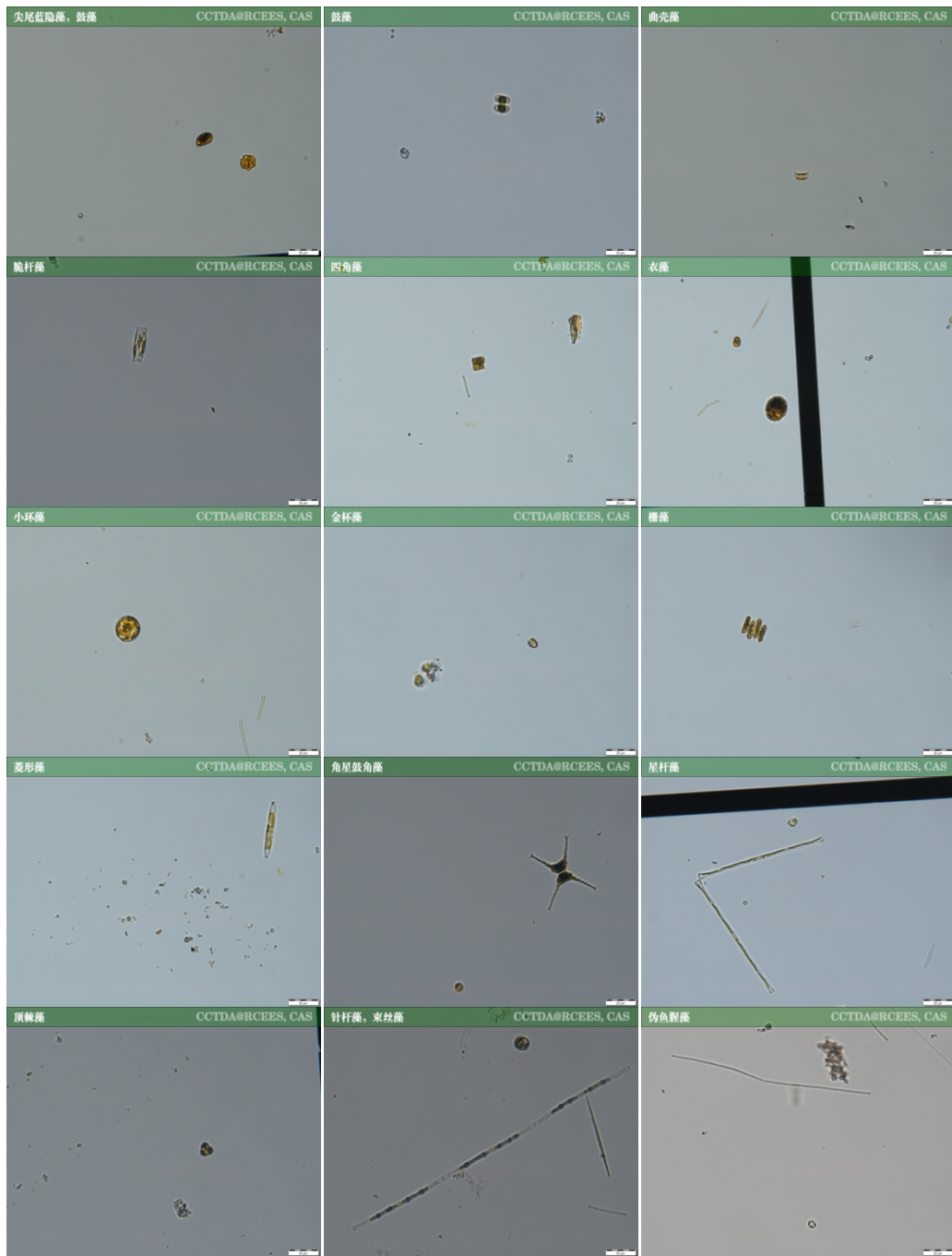


图 3 藻类镜检图片



图 4 藻类镜检图片

### 2.3.2 藻种云图

下图为本报告所有检测样品中藻种云图，字体大小权重为各藻种的细胞密度之和。



### 2.3.3 生态学指数总表

采样日期	采样点	采样深度	总细胞密度 [万个/L]	总生物量 [ng/L]	Richness 物种丰度	Shannon 多 样性指数	Simpson 多 样性指数	Evenness 均一度
2017-06-03	SD01	0.5	5913	1.5983	17	0.0926	0.9747	0.0327
2017-06-03	SD02	0.5	8788.6	2.487	21	0.1302	0.9632	0.0427
2017-06-03	SD03	0.5	17833	6.9301	23	0.1527	0.9549	0.0487
2017-07-26	SDG133	0.5	451.5	0.6683	18	0.7568	0.7388	0.2618
2017-07-26	SDG135	0.5	710.2	1.1108	19	0.6335	0.7765	0.2152
2017-07-26	SDG135	3	438.2	0.2862	21	0.7366	0.7356	0.2419
2017-07-26	SDG135	5.6	427.43	0.2652	18	0.6627	0.7716	0.2293
2017-07-26	SDG138	0.5	1094	0.4678	22	0.4831	0.8368	0.1563
2017-07-26	SDG83	0.5	72.43	0.2069	18	2.4376	0.1173	0.8433
2017-08-27	SD01	0.5	815.45	2.744	20	2.0448	0.2014	0.6826
2017-08-27	SD01	5	564.9	1.5316	23	1.8679	0.2491	0.5957
2017-08-27	SD02	0.5	3103.3	2.1444	23	1.0509	0.5939	0.3352
2017-08-27	SD03	0.5	697.71	2.8481	18	2.1039	0.1537	0.7279
2017-10-03	SD01	0.5	17402	4.2824	16	0.3296	0.8446	0.1189
2017-10-03	SD01	3	16596	4	17	0.3906	0.8176	0.1379
2017-10-03	SD02	0.5	15394	14.847	24	0.419	0.8063	0.1318
2017-10-03	SD03	0.5	14531	4.3539	23	0.3765	0.8366	0.1201
2017-10-25	SD01	0.5	5982.6	1.6481	25	0.4813	0.7801	0.1495
2017-10-25	SD01	3	11210	2.7197	19	0.4503	0.7866	0.1529
2017-10-25	SD02	0.5	10345	2.5879	20	0.3164	0.8688	0.1056
2017-10-25	SD03	0.5	5440.8	1.6193	23	0.7172	0.6423	0.2287
2017-11-09	SD01	0.5	544.98	0.2664	16	0.9001	0.5391	0.3246
2017-11-09	SD01	3	168.53	0.1024	12	1.4956	0.3254	0.6019
2017-11-09	SD02	0.5	160.11	0.1567	12	1.6026	0.2982	0.6444



2017-11-09	SD03	0.5	142.23	0.1005	15	1.4558	0.3314	0.5376
2017-11-25	SD01	0.5	382.81	0.179	14	0.5234	0.8184	0.1983
2017-11-25	SD01	3	229.32	0.2103	15	1.3	0.4148	0.48
2017-11-25	SD02	0.5	598.17	0.2172	14	0.5269	0.8091	0.1997
2017-11-25	SD03	0.5	1418.2	0.3985	20	1.1053	0.4252	0.369
2017-12-09	SD01	0.5	410.13	0.1673	14	0.3162	0.8979	0.1198
2017-12-09	SD01	3	499.99	0.22	17	0.7385	0.7329	0.2607
2017-12-09	SD02	0.5	217.9	0.1107	16	0.9227	0.6568	0.3328
2017-12-09	SD03	0.5	314.95	0.0671	15	0.3672	0.8823	0.1356
2017-12-25	SD01	0.5	31.99	0.0776	7	1.3361	0.3398	0.6866
2017-12-25	SD02	0.5	80.97	0.337	14	1.7375	0.3045	0.6584
2017-12-25	SD03	0.5	99.22	0.0627	7	1.0361	0.4833	0.5324
2018-01-09	SD01	0.5	139	1.1821	5	0.8703	0.5265	0.5407
2018-01-09	SD01	3	18	0.1122	3	0.8544	0.463	0.7777
2018-01-09	SD02	0.5	184	1.453	6	0.9753	0.5071	0.5443
2018-01-09	SD03	0.5	139	0.9267	4	0.8394	0.4672	0.6055
2018-01-26	SD01	0.5	183	0.8853	3	0.0941	0.9676	0.0856
2018-01-26	SD01	3	165	0.8331	6	0.3312	0.8727	0.1849
2018-01-26	SD02	0.5	98	0.4872	4	0.2834	0.8832	0.2045
2018-01-26	SD03	0.5	331	1.5865	5	0.1715	0.9408	0.1066
2018-03-08	SD01	3	43	0.2189	4	0.7512	0.6138	0.5419
2018-03-08	SD02	0.5	139.78	0.3319	5	0.6955	0.6489	0.4321
2018-03-10	SD01	0.5	46	0.5861	5	0.9321	0.4962	0.5791
2018-04-01	SD01	0.5	426.9	1.4617	9	0.8507	0.5209	0.3872
2018-04-01	SD01	3.5	91	0.6239	8	0.681	0.722	0.3275
2018-04-01	SD02	0.5	210	1.0162	10	0.6308	0.7624	0.2739
2018-04-01	SD03	0.5	292	1.6704	11	0.6212	0.7659	0.2591

#### 2.3.4 藻类种群季节变化分析

水库内藻类种群动态显示出一定的季节变化规律，图 6 所示为水库内藻类种群密度、生物量及 Shannon 多样性指数随时间的变化。整体上，藻类种群密度和生物量的季节变化趋势相似，在夏秋季较高，春冬季较低。藻类种群的多样性显示出与种群密度/生物量相反的变化趋势。

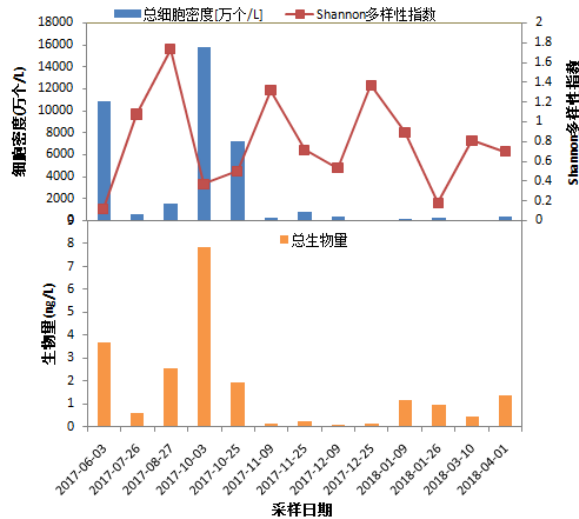


图6 藻类生物量、细胞密度及多样性的季节变化

图7(a、b)显示了水库内优势藻种组成及季节变化动态。以藻细胞密度计(图7a), 水库整体上以蓝藻和硅藻为主要优势种群。夏秋季(6~12月)份均显示蓝藻为最优势藻种, 且主要以束丝藻和假鱼腥藻为主, 其中束丝藻密度在6月( $1.1 \times 10^8$  cells/L)和10月( $1.4 \times 10^8$  cells/L)达到最高, 分别占总种群密度达98%和90%; 假鱼腥藻10月密度达到最高( $1.0 \times 10^7$  cells/L), 占比18%, 12月密度 $0.3 \times 10^7$  cells/L, 占比95%; 其次是一些硅藻, 如星杆藻、舟形藻、脆杆藻、针杆藻和曲壳藻等, 占种群总密度比例均高于10%。冬春季(1~4月)主要以星杆藻( $2.0 \times 10^6$  cells/L)和小环藻( $1 \times 10^6$  cells/L)为主, 占当月种群总密度分别高达98%和68%。

以生物量计(图7b), 优势种的多样性增加。6~11月, 除蓝藻外, 硅藻、绿藻、甲藻、裸藻和隐藻均有较大比重。其中, 蓝藻以束丝藻为优势藻种, 占总种群生物量最高63%, 此外, 10月初羽纹藻为主要优势种, 占比73%, 其他月份, 各优势藻种所占比约10%~30%。冬春季节(12-4月), 主要以硅藻、裸藻和甲藻为优势种, 其中硅藻以星杆藻和小环藻为主, 占比分别高达99%和71%; 裸藻以囊裸藻为主, 占比最高为42%; 甲藻以多甲藻为主, 占比高达24%。

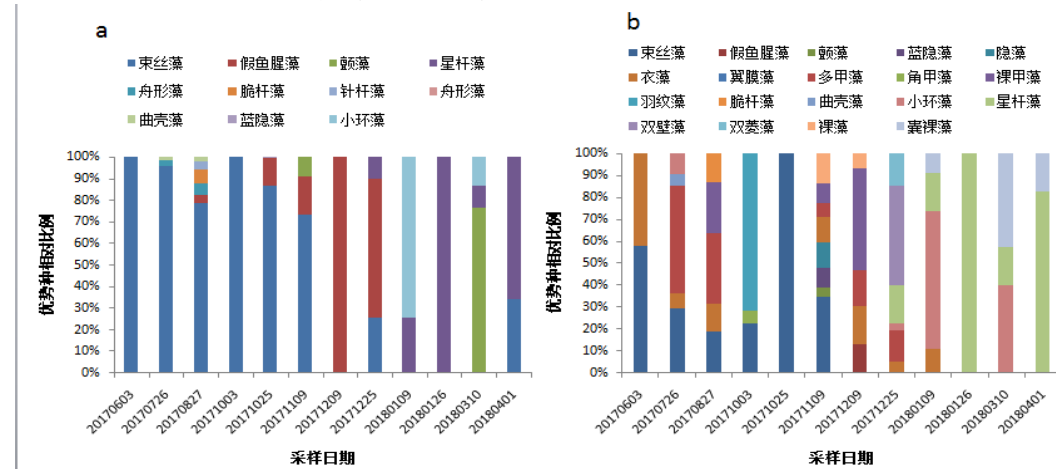


图7 优势种季节变化---以密度计(a), 以生物量计(b)

### 2.3.5 藻类种群空间分布特征

如图 8a 所示，各站点藻类密度有一定差异，但随时间变化没有确定的规律。但整体上来说，SD02 和 SD03 的总密度高于 SD01 (图 8b)，可能原因是 SD02 和 SD03 水深相对较浅，光照和营养条件更利于藻的生长。

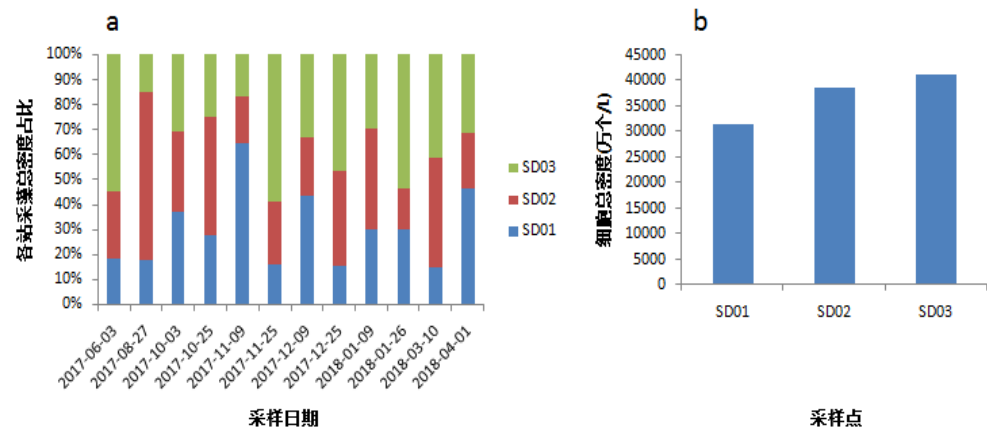


图 8 各采样点藻种密度

SD01 点位进行了分层采样(0.5, 3m)，图 9a 显示了 0.5m 和 3m 处藻群密度的季节变化，图 9b 显示了两个深度藻群总密度的差异，结果显示 0.5m 处的藻种群密度整体上高于 3m 处，主要是由于 0.5m 处的光照条件更利于大部分藻类的生长。

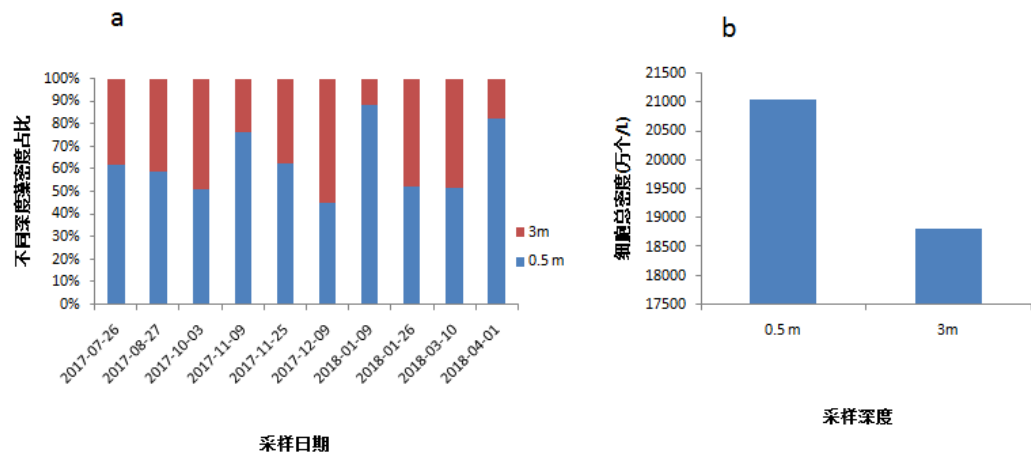


图 9 各深度藻种密度

## 2.4 水质指标检测结果

采样过程中对水体的部分水质参数进行检测，包括水体透明度、水温、pH、溶解氧和臭味，其中臭味类型主要为土霉味。以 SD01 点为例，图 10a 分析了藻群总密度，

蓝藻总密度及硅藻总密度与水质参数的动态变化,如图所示,藻群总密度与蓝藻的总密度变化一致,由于水库中的优势藻群主要为蓝藻和硅藻,而硅藻主要在春季有较高的密度,所以大部分时间水体中的藻群总密度是由蓝藻决定的;除温度外,其他水质参数的变化均较小.通过主成分分析(图 10b)发现,总藻密度与蓝藻密度密切相关,藻类的密度主要受水温影响,且与透明度和土霉味密切相关。结合图 10a 分析,水温与藻密度呈正相关;透明度整体变化较小,且检测数据较少,但一般来说,藻类密度越高,透明度越低;土霉味强度大体上与蓝藻密度呈正相关性,而水库中的蓝藻主要是由束丝藻和假鱼腥藻组成,文献记录显示两种蓝藻均可产生土霉味。

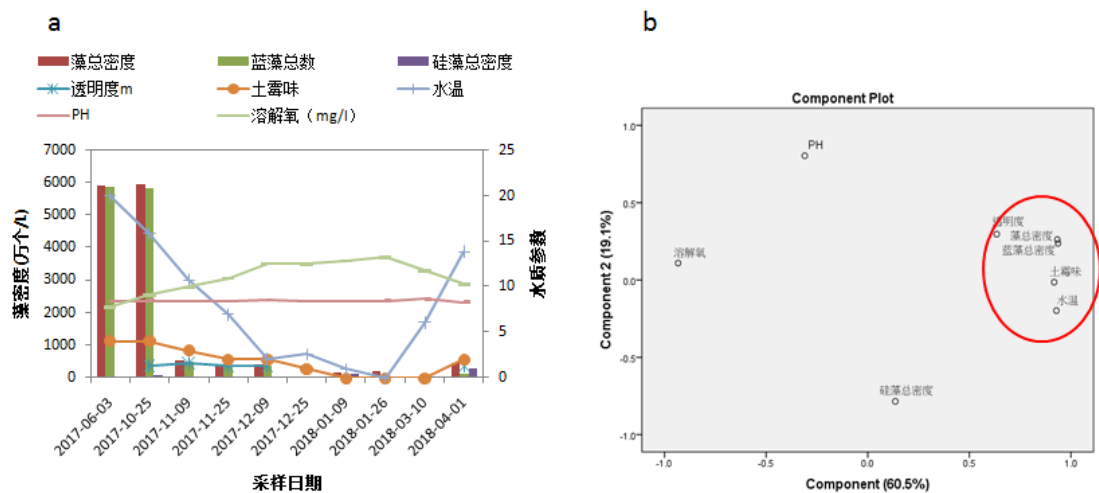


图 10 藻类种群及水质参数动态变化(a)及相关性分析(b)

---

## 第三章 分析与讨论

### 3.1 水体变绿问题

2017 年 4 月以来水洞沟水库出现了鱼苗剧增及水体变绿的现象。根据 2017 年 4 月的藻类检测报告，4 月份水体硅藻剧增，总密度高达到  $1.0 \times 10^7$  cells/L，其中以星杆藻为优势藻种，密度高达  $7.8 \times 10^6$  cells/L，硅藻密度的升高可能是导致水体变绿的主要原因。硅藻是水体中鱼类等的优质饵料，硅藻的密度增加会有利于鱼类的繁殖。根据 2017-2018 年对水库的季节性采样监测结果，硅藻一般会在冬春季节，特别是春季，达到较高的密度，此时需要密切关注。

### 3.2 藻类可能引起的其他水质问题

水洞沟水库整体上以蓝藻和硅藻为主要优势种。其中，蓝藻主要为束丝藻和假鱼腥藻。文献显示，束丝藻可以产生多种毒素，如 Anatoxin-a、Cylindrospermopsins、Saxitoxin 和 BMAA 等肝脏或神经类毒素，对水生动物及人类产生危害。此外，束丝藻和假鱼腥藻都可以产生土霉味物质，引起水体臭味问题。两类蓝藻主要在夏秋季节大量繁殖，需要重点关注。本次监测过程中，鱼腥味的问题较小，主要是鱼腥味的主要产臭藻---锥囊藻的密度一直较低，但鉴于过去水洞沟水库曾经有锥囊藻大量生长导致的鱼腥味问题，在之后的监测中仍需要对锥囊藻保持关注。此外，春冬季节主要是硅藻为优势种群，硅藻大量繁殖除了会促进鱼苗生长外，对后期水处理也会造成一定的困难，如增加饮用水消毒副产物、堵塞滤池等。

---

## 第四章 结论与建议

本报告主要基于 2017 年 6 月到 2018 年 4 月的水库原位调查，目前能得出以下初步结论：

1. 水洞沟水库共检出 47 个藻种，属于七大门类。整体上以蓝藻和硅藻为主要优势藻群。
2. 冬春季，水体主要以硅藻为主，特别是星杆藻为优势藻种；夏秋季节，水体主要以蓝藻中的束丝藻和假鱼腥藻为优势藻种，两种藻具有产毒产嗅风险，需要密切关注。
3. 水库三个点位的表层水体，藻类密度会有一定差异，但差异的变化规律不明显，建议后期监测过程中三个点位都要采样分析，有利于反映水库内藻类的真实状况。在不同深度上，表层水体的藻类密度高于深层水体，因此后期的监测可把重点放于表层水体的采样分析。
4. 水库内藻类的种群动态季节特征明显，主要受温度的影响。本次监测过程中臭味问题整体较小，主要是土霉味问题，土霉味很可能是由束丝藻和假鱼腥藻引起，并且在夏秋季节稍高。

基于调查的结果与初步结论，建议加强水库内藻类监测，及时捕捉问题藻种的动态变化；另外，营养盐对藻类的生长也有很大影响，除了常规水质指标，建议增加对氮磷等营养盐的监测。

---