

化学农业污染与藻类水华成因分析

作者：绿色和平科学部 Reyes Tirado 博士

绿色和平中国

2008年5月

简介

本文分析了在世界范围内，特别是中国水体中藻类水华爆发事件的分布情况。近年频繁的蓝藻和赤潮事件暴露了中国化学农业污染是引发藻华的重要原因之一，特别是大量施用化肥导致了这些灾难性的事件呈现出急剧上升的趋势。在中国大地实施了三十年的化学集约型农业，已经令我们的水资源不堪重负，中国必须从现在开始实施生态农业发展政策，培育和建设农民的生态农业技术生产能力，才能从根源上解决问题，保护我们赖以生存的水环境。

序言

化学农业生产带来的大量化肥流失正威胁着地球上的海洋、河流和湖泊的健康，氮和磷污染物为藻类的生长提供了养分，藻类从水中吸收大量养分，出现了大规模的藻类水华（藻华）。这些藻华导致了死海区的产生，死海区从墨西哥湾、黑海，扩展到中国的长江、珠江入海口。当全球变暖，我们的海洋温度不断升高时，这些问题只会愈加恶化。

在中国，化学农业产生了大量营养物质，在沿海湾区和淡水湖泊中，大规模的藻华事件频频上演。从 1970 年开始，我国拉开了化学农业耕作的序幕，也就是从那个时候起，中国的有害藻华爆发事件有愈演愈烈的趋势，至今为止类似事件已经超过当年的 20 倍以上^{[1][2]}。2005 年中国的氮肥施用量达到了 3000 万吨，已经是 1960 年的 55 倍^[3]。中国超过 85% 的湖泊面临富营养化^A威胁，532 条河流中 82% 者含有过量的氮^[4]。化学农业造成的污染也遍及渤海湾、东海和南海，引起藻华甚至形成死海区，在 2006 年，联合国环境规划署（UNEP）就曾宣布在中国的珠江和长江的出海口出现了两个新的死海区。化学农业污染亦波及中国重要的湖泊，如巢湖、太湖和滇池。特别在太湖地区，有研究表明，排放入太湖中的氮污染总量的 50% 以及磷污染总量的 48% 都是由化肥流失引起，这些化肥源自太湖周边西部的上游农田区域^[5]。这些随地表径流流失排放到太湖水体中的氮和磷污染物，是造成 2007 年夏天大规模蓝藻爆发的重要原因之一。

中国已投入大量资金和人力治理污染严控藻类水华。在针对农业污染方面，尽管中国政府制定了测土配方施肥、生态农业等相关措施试图控制农业污染，但是这些措施的执行效果却不尽如人意，尤其是能够根治农业污染的生态农业并没有得到有效的大力推广。中国再也不能承受化学农业的巨大代价了，绿色和平建议政府立即采取行动推广高度成熟的生态农业，为农民和基层农技人员等提供系统的生态农业知识培训和能力建设，同时定期进行评估，为广泛促进生态农业的实施，在制度上、结构上和政策上做相应改变。只有采纳这些政策与措施，才能根治化学农业污染对环境的破坏并遏制藻华爆发；只有采纳这些政策与措施，才能维持中国的粮食产量、保护我们的环境、更多的消费者才能享用从安全洁净的田地里出产的更健康的食品。

^A富营养：湖泊、河流、水库等水体中氮磷等营养物质含量过多所引起的水质污染现象。由于水体中氮磷营养物质的富集，引起藻类及其他浮游生物的迅速繁殖，使水体溶解氧含量下降，造成藻类、浮游生物、植物、水生物和鱼类衰亡甚至绝迹的污染现象。

目录

简介	1
序言	2
1. 定义	4
1.1 什么叫做藻华? 什么叫做蓝藻爆发?	4
1.2 养份过量和富营养化.....	4
1.3 有害藻华和赤潮: 养分过量所导致的后果一.....	4
1.4 氧气耗竭和死海区: 养分过量所导致的后果二.....	5
2. 藻华的后果	5
3. 养分过量和富营养化的成因.....	6
3.1 化肥流失.....	7
3.2 生活污水输出过量营养物质.....	8
3.3 畜禽养殖输出过量营养物质.....	8
3.4 含磷物质的排放.....	8
3.5 工业污染排放.....	9
3.6 矿物燃料的燃烧.....	9
3.7 气候变化的诱因.....	9
4. 中国的富营养化、有害藻华和死海区情况.....	10
4.1 污染状况概览.....	10
4.2 化学集约型农业的化肥农药大量使用.....	12
4.3 滇池和太湖受化学农业污染现状.....	13
4.4 经济损失.....	14
5. 案例研究: 农业政策推广与太湖蓝藻爆发.....	15
5.1 调查方法.....	16
5.2 调查结果.....	16
5.2.1 测土配方施肥项目实施情况.....	16
5.2.2 生态农业推广情况.....	17
5.2.3 基层农技体系功能缺陷.....	17
5.3 结论.....	18
6. 其他国家的富营养、有害藻华和死海区情况.....	18
6.1 欧洲.....	18
6.2 美国: 墨西哥湾.....	19
6.3 墨西哥: 加利福尼亚湾.....	19
7. 解决措施	19
结论和绿色和平的要求.....	20
参考文献	22

1. 定义

1.1 什么叫做藻华？什么叫做蓝藻爆发？

藻类，是漂浮于河流、湖泊和特定海域中的微小浮游生物，当它们在短时间内快速并大量的生长繁殖时便形成了藻华。有许多种藻类都能够形成藻华，他们有不同的颜色，具有毒性以及其它特征，但是通常每一次藻华事件都是由特定一种或者两种藻类引起的。

蓝藻，也叫蓝绿藻，是一类能够产生特殊蓝色色素的藻类，如果藻华是由这些蓝藻引起的，则被称为“蓝藻爆发”；众所周知的“赤潮”也属于藻华现象，是由于一些海洋微藻和细菌等在海水中过度繁殖引起的。

一些藻华是自然原因形成的，比如深海富养物季节性的上涌^[6]，但是更多的是由于人为过量投入营养物质造成的污染所导致，这些富集的营养物质会引起生物体的大量繁殖^{[1][7][8]}，因此水中可吸收的营养物质越多，就有更多的藻类可以赖以生长和繁殖，最后发展成厚厚的藻层。

1.2 养份过量和富营养化

营养物污染的主要形式是氮和磷，这些流入海洋的氮和磷来源于多种人为因素，包括化学农业中喷洒的化肥通过径流由农田流失到河流湖泊中，家庭和工业排放的污水以及由于燃烧矿物燃料而产生的大气污染物^{[8][9][10]}。当这些富集的营养物质达到一定程度，富营养化便会发生。而富营养化恰恰是发生藻华的一个必要条件。

1.3 有害藻华和赤潮：养分过量所导致的后果一

有害藻华是伴随藻华而来的负面影响，藻华可产生有毒物质，从而直接或者间接地导致人类和水生生物患病甚至危害生命。比如，导致沿海区域的渔业和生物多样性资源衰退，或者耗尽海洋某些区域中的氧气而形成死海区。

藻华可以是红色，橙色，褐色或者绿色，这取决于形成藻华的藻类带有什么样的色素，当这些带有颜色的微小藻类密集生长时，它们的色泽就能够为肉眼所看见。

发生赤潮时，海水的颜色除了会变成红色，还可以变成桔红色、黄色、绿色、褐色等。另外，这里所说的术语“潮”并不是真正意义上的潮汐。

1.4 氧气耗竭和死海区：养分过量所导致的后果二

死海区域通常位于沿海靠近海底的某个区域，这个区域中海水中的溶解氧会被耗尽^[11]。藻华时，不仅严重阻碍了其他浮游生物的正常生长，而且会在覆盖的水域阻挡阳光和氧气的进入；在炎热无风的夜间，由于水里的溶氧量本来就少，沉积的有机物在微生物的分解下还要进一步消耗氧气；同时一些浮游动植物在夜间也要消耗大量氧气，从而造成水域下部严重缺氧。当水中的溶解氧含量处于极低水平时，我们称之为贫氧，如果检测不到任何氧气时，我们称之为缺氧。在海底，这样的贫氧区域由于缺乏氧气，使鱼类和无脊椎动物无法生存，因此“死海区”这个词揭示了这些海域没有鱼类、蟹类也没有其它动物的真实状况^{[9][12]}。

现在已经有文献记载的199个死海区都与人为活动导致的富营养化相关（图1）。大部分的死海区是季节性的，通常在一年一度的温暖月份中，在降雨季节过后，大量营养物质流失到水体里（比如，墨西哥湾便是其中之一），其它的死海区一般是永久性的，比如位于波罗的海的死海区。

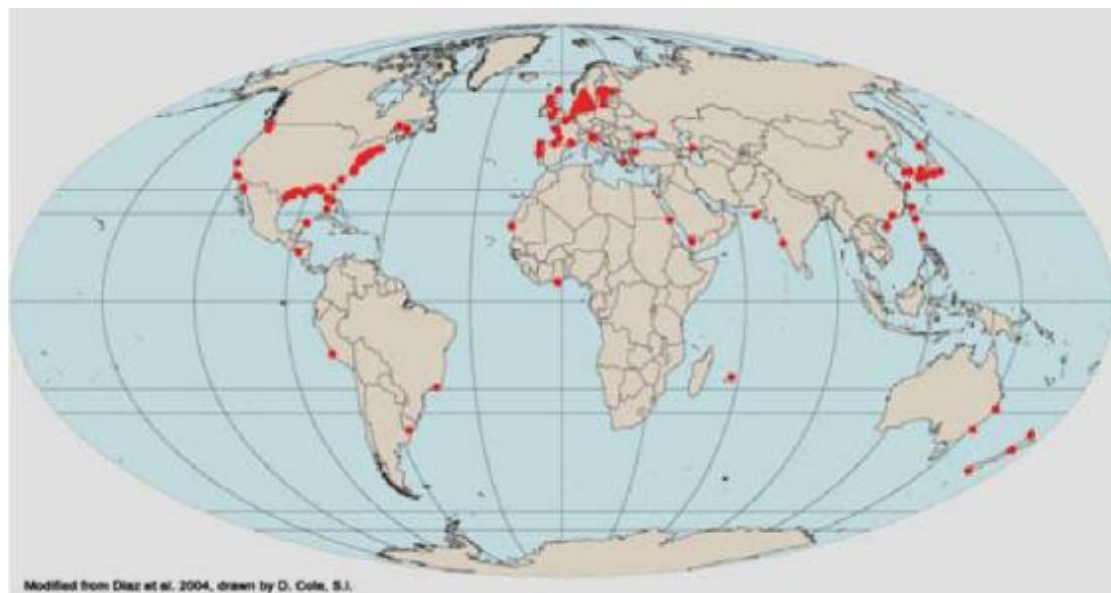


图 1. 全球 199 个因人为活动导致的富营养化而产生的死海区域分布图。来源：2007 年联合国环境规划署和世界卫生研究中心

2. 藻华的后果

溶解氧耗竭和世界范围内的死海区

全球的死海区域主要分布在人口密集的流域，或是靠近发达地区的江河流域，这些地方通常富含大量营养物质^[7]。

迄今为止在沿海地区发现的面积最大的死海在波罗的海(84,000平方公里)、北墨西哥湾(21,000平方公里)，以及黑海的西北部海岸(40,000平方公里)。另外面积较小，溶解氧耗竭频率较低的地域还包括亚得里亚海北部、北海南部和美国许多海岸及河口流域^[9]。近期一些研究显示，如今发生溶解氧耗竭的地区也出现在了南美、中国、日本、澳大利亚东南部和新西兰。一些最新的文献记载，芬兰的群岛海、加纳的福苏礁湖（Fosu Lagoon）、中国的长江和珠江河口、西印度洋也都发现了新的死海区(图1)^[13]。

生物多样性的丧失

养分过量除了增加有害藻华和死海的出现频率和严重程度外，同时也已经造成了海草栖息地的消失以及沿海生物多样性的丧失^[7]。

近来在地中海、中国河口流域以及日本海岸频繁发生了多起水母入侵浅海水域的事件。虽然这是由许多因素所导致的，但养分过量和富营养化作用无疑是造成此问题的根本原因^[14]。

3. 养分过量和富营养化的成因

磷和氮（都是化肥的主要成分）都是导致全球富营养化现象的主要成分，但在生态系统的循环过程中，氮是最重要也是参与循环最多的养分之一，特别在河口以及其它海洋区域情况更是如此^{[2][7]}。磷（主要来自化肥、废水和清洁剂）也对富营养化现象的形成具有重要作用，这种情况通常存在于淡水中。在很多情况下，氮和磷污染能够相互作用，所以我们需要对氮和磷进行综合处理，以控制其对环境的负面影响^[2]。

从工业革命以来，流入海洋中的氮的数量呈爆发式的增长。流入北海水域的氮已经增长了15倍，流入美国东北部的氮增加了11倍，流入黄河流域的氮增加了10倍，流入密西西比河流域的增加了6倍，流入波罗的海的增加了5倍，流入欧洲西北部的增加了4倍。预计到2030年，如果以1995年为基数，全球范围内流入海洋的氮数量将增加14%^[10]。

过量的养分主要来自于以下这些源头：

1. **化肥流失**，化肥是很多富营养化区域的主要养分来源，例如在密西西比河流域，67%的氮流入水体，随之流入墨西哥湾^{[9][15]}，波罗的海^[2]和太湖中超过50%的氮也来自化肥的流失^[16]。
2. **生活污水**，包括人类的生活废水和含磷清洁剂。
3. **畜禽养殖**，畜禽的粪便含有大量营养废物如氮和磷，这些元素都能导致富营养化^[17]。
4. **工业污染**，包括化肥厂和工业废水排放。
5. **燃烧矿物燃料**，在波罗的海中约30%的氮，在密西西比河中约13%的氮来源于此^[18]。

3.1 化肥流失

在全球除非洲外的每个大陆，人类使用的合成氮肥是进入沿海水域的营养物质的最主要来源。全球范围内，每年进入海洋的氮有40%来自人类使用的化肥。其余的60%来自于生活和工业污水、动物排泄物、豆科植物生长中的固氮作用和矿物燃料燃烧带来的大气负荷，如果所有其他来源加在一起，每年排放的氮总量为1600万吨^[19]。下图黄色标注为以化肥为主的氮污染地区：亚洲的南部和东部，欧洲以及美国的中西部^[8]。亚洲的南部和东部以及北欧的无机氮流失，并流入到沿海水域的量是全世界最高，达到每年每平方公里土地流出5000公斤氮^[8]。

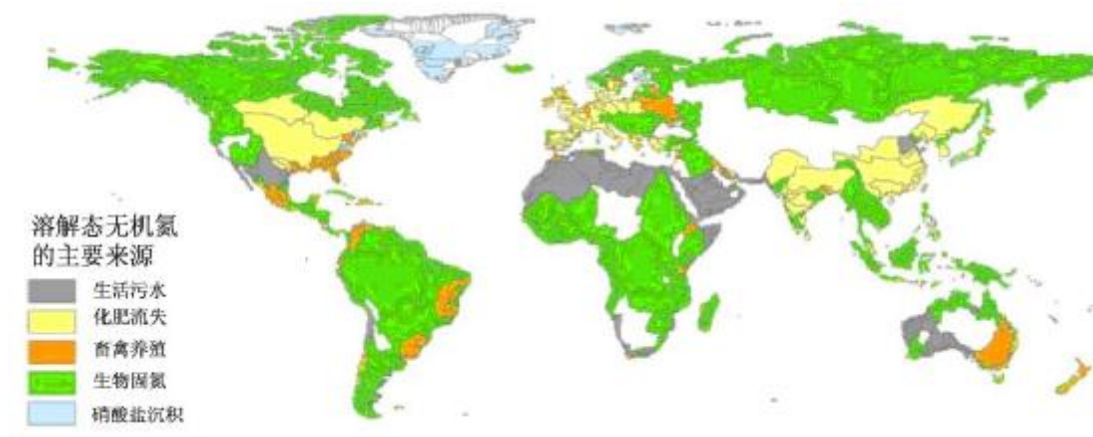


图2. 全球溶解态无机氮的水域输出分布图，引自：《全球溶解态无机氮的海域输出分布图和源头》^[8]

根据全球的统计数据，在施用于土地的氮肥中，平均12%的合成氮肥直接流入了沿海水域。而在某些高流失量地区，比如在降水量较多的农耕地区，这个统计数字可能高达30%^[19]。在过去的40年中，由于全世界化肥使用量急剧增长，直接进入沿海水域的化肥总量已

经增加了 6 倍^[19]。例如，中国在 20 世纪 70 年代的氮肥消耗量不到 500 万吨，而现在每年的消耗量就超过了 3000 万吨，占世界氮肥总消耗量的 25%，从而导致了我国沿海海域的氮污染现象显著增加^[1]。自 20 世纪 70 年代以来，随着我国的化肥使用量开始增加，有害藻华爆发的次数至今已经超过了当年的 20 倍，如今，藻华灾害扩展的范围更大，次数更频繁，毒性更高，且持续时间更长^{[1][2]}。

3.2 生活污水输出过量营养物质

日益增长的人口数量增加了污水的排放，由此也增加了排放到自然环境中的营养物质。在发展中国家，大多数的废水未经处理就被排放到下水道中，在发展中国家的城市中，只有不到 35% 的城市具有污水处理体系。即使在有污水处理设施的城市，这些地方也只是提供初步处理，而很少有脱氮的操作过程。另外，即使在发达国家，多数污水处理设施也不包括深度处理过程，即脱氮过程。在某些地方，废水是氮释放到自然环境中的最主要原因^[2]。

3.3 畜禽养殖输出过量营养物质

畜禽养殖也会输出过量的营养物质。粮农组织数据显示，在 2004 年全球禽畜粪便中，氮含量达到 1 亿 3500 万吨，磷含量达 5800 万吨。其中牛粪便的氮贡献率最高，为 58%；猪粪达 12%，鸡粪为 7%。从地理位置上看，亚洲地区输出量最多，占全球氮和磷输出总量的 35.5%^[17]。

在中国，由于对肉类的的需求不断上升，农村地区集约式的动物农庄、渔场、养鸡场应运而生。在某些地区的集约式养殖场中，氮和磷的输出量惊人，例如在每公顷土地上施用的有机肥中氮含量达到 1721 公斤，磷含量达 639 公斤。这样的施用水平大大超过土壤吸收有机养分的承载极限，因此过量养分便会流入水体和土壤中^[4]。现在中国 90% 的养殖场根本没有废物和污水处理设施，有的地方即使有其设备也非常简陋。尤其值得关注的是，在城乡结合部许多大型养殖场造成了以上问题。例如 2002 年在河南、四川和山东省，畜禽粪便的氮磷输出量最大，广东、江西与河北省其次^[20]。

3.4 含磷物质的排放

在当今的工业产磷量里，80%-85% 者用于制造化肥，另一个用磷的工业行业是洗涤剂行业^[21]。从某一地区来看虽然工业的磷排放所占比重较大，但总体上看，流入水体的磷主要

还是来自于城市污水和农业。农业磷排放中，又主要来自养殖业和使用化肥。由于某些国家的洗涤剂行业逐渐控制磷使用以及城市污水处理设备日益完善，因此因为过量磷排放导致的富营养化现象有所减弱。所有的案例研究表明只有减少 70%-90%的磷排放，才能大量降低富营养化^[22]。

3.5 工业污染排放

直到几年前，营养物污染仍与当地的工业排放有着非常重大的关系，特别是在发展中国家，现在由于严格的废水排放控制，营养物污染与工业排放的关系已经相对减弱，而面源污染^B则成为了主要的污染源（特别是农业和畜牧业）。当然在某些特殊区域，工业排放仍是富营养和有害藻华事件的主要诱导因素。

很多工业制造和加工工厂使用氮和磷化合物作为基础产品，下面是造成营养物质流失的主要例子：

- 化肥厂：硝酸铵，尿素，磷酸盐等。
- 农药厂：有机磷农药，同时包含氮化合物
- 食品加工厂：食品垃圾，腌肉（比如腊肠）生产中使用的亚硝酸钠。
- 含磷清洁剂：在很多国家，三聚磷酸钠（STPP）仍作为主要的清洁助剂。
- 使用尿素作为基础产品的行业（耐火涂料，烟草产品，化妆品行业-保湿霜）。

3.6 矿物燃料的燃烧

矿物燃料燃烧过程（既包括交通工具燃烧汽油，也包括电厂的发电过程）产生的氮化合物（NO_x）能够直接沉积进入水体，或者先存在土壤中，间接地被冲刷入水体里。在某些地区，矿物燃料燃烧过程产生的氮化合物是氮污染的主要源头，比如波罗的海中的氮 30%者来源于此，通过密西西比河流入墨西哥湾的氮，13%者来源于此^[18]。

3.7 气候变化的诱因

在未来几年中，全球变暖可能加剧有害藻华灾害的发生，因为较高的温度能够加速藻类

^B面源污染：在农业生产过程中，农田土粒、氮素、磷、农药及其它有机或无机污染物质，在降水或灌溉过程中，通过地表径流、农田排水和地下渗漏，进入水体所造成的污染。

(<http://scholar.ilib.cn/Abstract.aspx?A=lmykx200406011>)

生长，并且为有毒藻类的生长创造适宜条件^[23]。其它受气候变化影响的因素能够加速营养物质的流动和富营养化。例如，近期一组科学家根据对墨西哥湾的研究指出：“在 21 世纪某个时期，气候变化可能会在一定范围内使墨西哥北部湾的溶解氧不足现象加剧。如果气候变暖导致降水量、水流量以及氮负荷三者加大，那么溶解氧耗竭现象会更加广泛、持久和严重^[9]”。

气候变暖可能对中国水体造成的影响便是更广泛和更频繁的藻华灾害，而且每年开始的时间将更早，持续时期将更长^[16]。例如在珠江口和长江口，由于气温上升，赤潮爆发的频率和强度越来越大，缺氧地带的面积也越来越大^[24]。

4. 中国的富营养化、有害藻华和死海区情况

4.1 污染状况概览

过量营养物污染和有害藻华已经遍布国内的淡水和沿海区域。现今，中国的湖泊中，超过 85% 的湖泊面临严重的富营养化问题，在 532 条主要河流中，82% 的河流被过量的氮污染^[4]。有害藻华发生最频繁的三个沿海区域是（表 1）：

- 渤海
- 中国东部海域：杭州湾和长江口，
- 中国南部海域：珠江口和广东东部海域。

2007 年，82 起赤潮发生在中国海域，覆盖了 11610 平方公里的海域^[25]，中国除了受到富营养化作用和频繁爆发的有害藻华灾害影响外，中国的两条主要河流（长江和珠江）的入海口已出现了两个死海区^[13]。太湖、巢湖和滇池是三大重度污染湖泊，受富营养化作用的破坏最严重。表 1 总结了 2007 年富营养和有害藻华爆发的一系列事件。

表 1. 中国发生富营养化和有害藻华的主要地区

爆发有害藻华事件的主要月份和地区	导致养分过量的主要污染源	有害藻华爆发事件及其影响
<u>沿海海域</u>		
渤海 (在黄河入海口、辽东半岛和渤海湾最为严重) 7-8 月	化肥流失, 工业排放和城市废水, 该区域周边居住着 21% 的中国人口 (约 3 亿人)	有害藻华的爆发逐年递增, 经常造成大面积的渔产死亡
中国东海 (长江口和浙江东部海岸线是最严重的地区) 5-6 月	长江在其流经地区汇入了大量流失的化肥、工业排污和市政污水, 水中的硝酸盐浓度从 1968 年到 1997 年增长了 10 倍。	从 2000 年至 2004 年间共报道了有害藻华事件 246 起 (而 20 世纪 90 年代共发生 111 起)
南海 (珠江口和深圳海岸最为严重) 3-5 月	珠江中下游流域的农田化肥流失, 工业排污和周边人口密集区的生活污水	从 1998 年至 2003 年间报道的有害藻华事件约有 15 起, 在 1998 年, 靠近香港海域的大面积的有害藻华事件杀死了大约 80% 的渔场鱼类。
<u>淡水区域</u>		
太湖 6 月	超过 50% 的部分来自于面源污染 (即上游的农业、生活污水和水产养殖业) 来自工业污水的养分排放在过去十年中已经有所缓解	有害藻华在过去十年中大幅增多, 这个夏天仍在持续增长, 微囊藻毒素、蛋白活性毒素污染了供应水
巢湖 7-9 月	大多数来自于面源污染 (化肥流失和生活排污), 由于其他污染导致的养分过量问题自 20 世纪 70 年代末至今已经降低了 40%。	自 20 世纪 90 年代至今富营养化问题愈发严重, 有害藻华灾害在过去几年中频繁发生, 范围不断扩大。
滇池 4-5 月	大约 40% 来自于面源污染 (化肥) 以及生活污水。	自 20 世纪 90 年代至今富营养化问题愈发严重, 有害藻华事件在过去几年中频繁发生, 范围不断扩大。
小江 (三峡库区)	化肥流失, 工业排污和生活排污	有害藻华频发于三峡下游, 并导致水生生物死亡

化肥流失、畜牧业、渔业、城市生活废水排放和工业废水排放都是中国水域养分过量的主要原因。过去十年中, 来自工业废水的营养物污染有所减少, 但是由于化肥流失和城市污水的排放导致的养分过量却逐年上升, 而且始终被忽视^{[16][26][27][28]}。

珠江口养分过量问题的主要原因是河流中下游地区的农业化肥流失，以及周边人口密集区域的废水排放（超过 70% 以上的生活废水直接排入珠江或是沿海水域而未经任何处理）^{[26][29]}。

而在渤海海域，根据官方引用的一位水生生态系统专家的话：“每年五分之一的生活污水被排放入渤海，如果不采取任何措施来彻查污染的话，可能这里在十年之内就会成为死海区。”^[30]

4.2 化学集约型农业的化肥农药大量使用

中国的化肥使用量在过去的几年时间里显著增加，从1960年至今，氮肥的施用量已经增长了55倍，到2005年已经达到了3000万吨（图3）。在上一个十年中（1995-2005），氮肥和磷肥的施用量以每年25%的增长速度持续增加，但在近十年中，水稻的产量却只增长了不到4%，蔬菜产量增长不到3%。也就是从中国拉开化学农业耕作序幕的时候起，中国的有害藻华爆发事件有愈演愈烈的趋势，至今为止类似事件已经超过当年的20倍以上^{[1][2]}。太湖、巢湖等重要湖泊的蓝藻爆发事件也越来越多地进入人们的视线中。

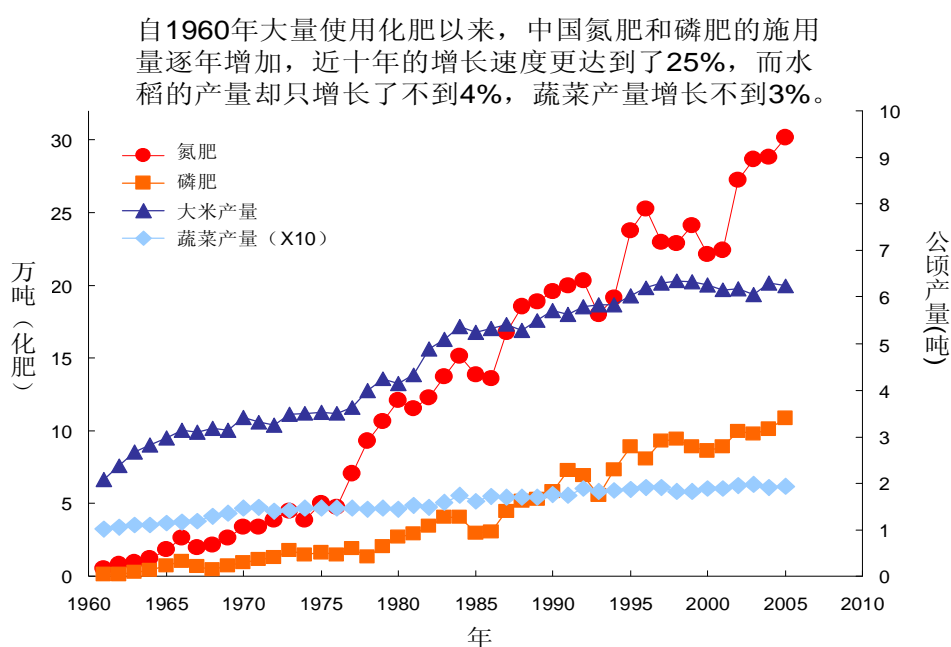


图 3. 1961 年至 2005 年间中国的作物产量及使用的合成化肥情况^[3]

这样的化肥消耗量是惊人的，研究人员指出，化肥中约有55%到75%的氮和75%到90%的磷没有被作物所吸收，而且部分流失进入水体^[16]。2004年，全国氮肥施用量平均为211 公斤氮/公顷，而一些省份的平均施用量超过了400公斤氮/公顷，一些县对蔬菜作物的施用量则超过了1000公斤氮/公顷^[20]。

2005年中国的复合肥平均施用量为321 公斤/公顷，有机肥的平均施用量为125 公斤/公顷^[4]，显然这些速效而廉价的肥料使土壤中的营养物质严重过剩。在某些地区，对蔬菜施加的氮肥和磷肥每年可达1,700 公斤/公顷，对鲜花作物施用的氮肥和磷肥每年可达2000公斤/公顷^{[4][31]}。在中国，蔬菜生产已经成为国内增长最快、利润最高的农业产业之一，目前蔬菜耕种面积超过了20,000公顷，而在这些土地上，水和化肥的的过量使用是十分普遍的^[20]。此外，在全国三分之一的省份中，有超过20%的农田里种植着大量施用化肥的作物。尽管化肥的施用量急剧增加，但作物产量却未见增长或者增长缓慢^[4]（图 3）。在山东省寿光市，对黄瓜和西红柿所施用的养分总量分别为氮：2,060 公斤/公顷；磷：2,530 公斤/公顷。这些养分其中一半来自有机肥料，其养分输入的总量超过了作物生长实际需要量的2至6倍^[20]。据估计，在1997年一年时间里，仅山东一个省浪费的化肥就约有118,000吨氮肥和152,000吨磷肥^[20]。过量的养分投入是化学集约型农业的一个普遍特点，从而导致了上述富营养化、赤潮和蓝藻爆发事件，同时其对农民也造成相当的经济损失，并且由于化肥的制造和使用还加速了温室气体的排放。上世纪90年代的一项研究指出，中国每年由农田浸出和流失所损失的化学氮肥大约为173万吨^[32]。每年因为使用农业化肥，而进入长江和黄河的氮含量分别为92%和88%，其中有约50%来源于化肥。有详细的统计分析资料显示，中国农民大量使用化肥的生产方式并不因季节、产量或耕种方法的不同而改变。例如，长江流域的稻农在20世纪90年代期间施用的化肥超过了正常施用量的58%至70%，是中国所有地区中最高的^[20]。毋庸置疑，化学集约型农业和对农药化学品的过度依赖是隐藏在中国面源污染问题背后的根本原因，并且其中以氮肥滥用最为严重。

4.3 滇池和太湖受化学农业污染现状

在未铺设排水渠的农村地区，因化学农业和生活污水引起的面源污染现象正在快速增长，而成为了很多地区的主要污染源。例如，在 2000 年，中国的河流中 70%的氮污染和 65%的磷污染来自化学农业和生活面源污染^[33]。自 20 世纪 80 年代以来，滇池中源自农田化肥

使用的氮负荷已经增长了 3 倍，占据了当前氮负荷总量的 58%，还有 35% 的氮负荷来自动物粪肥造成的有机肥污染，也就是说，滇池中超过的 90% 氮负荷量是由农业污染造成的，而余下的 10% 是农村废水排放所致。同样地，自 20 世纪 80 年代以来，源自化肥的磷负荷已经增长了 15 倍，占据了当前滇池磷负荷总量的 64%。如果再加上另外 31% 来自有机肥中的磷，那么滇池中共有 95% 的磷污染是由农业所引起^[31]，另外 5% 的磷负荷则是由农村废水排放造成的。

据估算，太湖中超过 50% 的氮和磷来自于这种面源污染，其中多数源自农业^[16]。一些研究认为，在直接排放入太湖的氮中有 23% 来自化肥^[34]，而且绝大多数污染源自西部上游水域并与化学农业污染和生活污水排放直接相关^[28]。最近有研究显示，化肥中的硝酸盐是太湖氮污染的最主要源头，其余的则是来自生活污水和牲畜粪肥^[35]。另有研究认为，排放入太湖中的氮污染总量的 50% 以及磷污染总量的 48% 都是由化肥流失引起，而且多数源自太湖西部上游的农田区域^[5]。另外，太湖中氮污染总量的 5% 和磷污染总量的 18% 由家禽饲养业引起的^[5]。尽管农业和生活污水是造成富营养化的主要源头，但是太湖中水产养殖业的发展也使养分过量现象日益严重^[36]。近几年，由于严格的管理控制制度，由工业废水排放所引起的污染已经明显减少^[28]。在太湖流域的南溪河附近，从水稻和蔬菜地流失进入河水，并最终流入太湖的氮污染物，比相同区域中种植竹子和栗子作物的农田流失率要大很多^[37]。

4.4 经济损失

营养物污染问题一旦达到临界状态，想要控制是非常困难并且代价高昂的。与藻华有关的直接经济损失加上清除和减缓灾害影响时发生的费用是巨大的。在这些事件发生的地方，经济损失和相关开支会给地方经济带来很大影响。因此在问题恶化之前，为了制止这场环境和经济上的危机，中国现在必须切断氮磷污染的根源。

中国的人均淡水资源只有世界平均水平的四分之一，同时也是世界上最大的淡水消费国，淡水水质的恶化使中国的水资源更加匮乏。中国环境科学研究院首席研究员王金南说：“中国政府计划至 2010 年底至少投入 2565 亿元人民币（即 342 亿美元）用于清理 11 条已污染的河流”^[38]。依照王研究员所述，这些投资的主要项目将全力用于停止工业污染、城市污水治理和预防地方污染。如果将其他一些小项目、日常工作与维护包括进来，那么政府在十一五期间的总支出将高达 4000 亿至 5000 亿人民币。清理河流的项目预算占中国去年

20 多万亿元国内生产总值（GDP）的 2%^[38]。

太湖水被污染之前，主要向南京和上海之间的粮食与棉花种植区提供灌溉用水，并可以用于养渔业，为数百万的人民提供饮用水。2007 年夏天，在蓝藻爆发后三个月的时间里，江苏省苏州、无锡和常州环绕太湖的上千家的化学工厂被强制关停。接着在 2007 年秋季，政府宣布计划投入 1085 亿人民币（144 亿美元）治理太湖^{[39][40]}。值得一提的是，2007 年仅江苏省便投入了 20 亿人民币用于太湖水污染的治理工作^[41]。

中国云南省政府在 2007 年宣布，计划在未来几年内投入 84 亿人民币（11 亿美元）继续用于治理云贵高原上最大的淡水湖滇池的污染问题^[42]。而在之前的 14 年中，政府已经投入了大约 35 亿元（5 亿美元）来缓解滇池富营养化问题，但是未收到显著成效^[16]。

20 世纪 80 年代以来，赤潮对渤海海域的冲击已经超过了 40 次，造成数十亿人民币的经济损失（渔业，水产养殖业等均受到影响）^[43]。世界银行于 2007 年 3 月批准了一项提供给中国的 9600 万美元贷款，用于帮助改善珠江三角洲地区的严重城市污染问题。这些污染物为藻类提供养分，造成大量鱼类死亡，并且每年国家要投入超过 1 亿美元用于污染的治理^{[44][45]}。

5 案例研究：农业政策推广与太湖蓝藻爆发

太湖蓝藻爆发事件在近几来越来越受到关注，化学农业污染是造成太湖蓝藻爆发的一个重要原因，中国政府也意识到这个问题，并制定了如下举措来减少农业污染：

- （1）发展有机农业和生态农业。
- （2）从 2005 年起在全国范围内推广“测土配方施肥”项目。太湖周边属于重点推广地区，旨在指导农民合理使用化肥、农药，提高化肥利用率，减少化肥的使用^[46]；
- （3）在太湖周边限制开办养殖场^[47]；

但是其中一些措施并没有得到落实，尤其是生态农业并没有得到有效的推广，受访的基层农技人员和农民都不知道什么是生态农业，有的人甚至简单地把“绿色食品”、“多种树”当成是生态农业。

2008 年 3 月到 4 月，为了解太湖地区生态农业的发展以及农民使用化肥的情况，绿色和平工作人员走访了太湖地区的宜兴、常州等地区。调查发现以上系列中央政府的措施并没有在地方得到足够的重视和实施，大量的化肥仍然被农民施用到种植中，继续加剧这些湖泊内的蓝藻扩散。

5.1 调查方法

(1) 资料搜集，包括网络和公开出版物

(2) 实地走访，在 2008 年 3 月，走访了宜兴的芳桥、新庄、洋溪以及大浦四个镇；在 2008 年 4 月，走访了常州的雪堰、潘家、牛塘以及奔牛四个镇。

(3) 农民访谈，在每个镇绿色和平工作人员会走访约 2 个村庄，每村采访 5 位农民。询问农民有关施肥、农业知识与技术的来源以及对当地农技工作的看法。

(4) 在志愿者配合下，以当地农民寻求技术指导的形式咨询农技人员，询问关于农业技术的一些问题和了解测土配方施肥项目、生态农业推广的情况。

(5) 当地农资经销商访谈，询问关于测土配方施肥项目的情况。

5.2 调查结果

5.2.1 测土配方施肥项目实施情况

中国盲目施肥和过量施肥现象较为严重，不仅造成肥料资源严重浪费、农业生产成本增加，而且影响农产品品质、污染环境。中国科学家从上世纪 80 年代就开始了测土配方施肥^C方法的探索。从 2005 年起，国家为了解决此问题和推进农业节本增效，促进耕地质量建设，促进农作技术的发展，开始从国家层面大力推广测土配方施肥项目。

绿色和平的调查人员通过访问当地农技站工作人员，配方肥连锁网点以及当地农民，具体了解了此项目在环太湖地区的推动情况。

宜兴市的测土配方施肥项目是在 2006 年底启动的，当地政府为此成立了专门的领导小组^[48]，也进行了相应的宣传推广，但是实际推动工作中却出现明显的工作程序混乱情况。

测土配方施肥强调在对农田土壤进行物理和化学特征分析之后，根据分析结果以及作物的实际情况来指导施肥。但是绿色和平工作人员了解到，宜兴市在 2008 年才开始土壤样品的采集和检测工作，却早在 2007 年就开始向农民推广配方肥。这种脱离了“测土”基础的配方肥推广，使原本有针对性的“测土配方”失去了应有的意义。

另外，我们从配方肥连锁网点了解到，目前在销售的配方肥实际上是一种复合肥，配比只有两种，仅通过两种配比的复合肥，是不足以根据各处土壤的不同情况调整氮磷钾平衡的。

况且，配方肥连锁网点的工作人员和购买化肥的农民都不知道测土配方专用肥跟普通复

^C 测土配方施肥：是以土壤测试和肥料田间试验为基础，根据作物需肥规律、土壤供肥性能和肥料供应，在合理施用有机肥料的基础上，提出氮、磷、钾及中、微量元素等肥料的使用品种、数量、施肥时期和施用方法。（中国测土配方施肥网 <http://ccps.net.cn/pf-lilun.asp>）

合肥的区别，由于缺乏相应的指导，他们只是把这种配方肥当成是普通的复合肥来使用。在宜兴市洋溪镇，有使用过配方肥的当地农民告诉我们，配方肥与国产复合肥相比，价格稍贵，用量差不多，但是效果还不如普通复合肥。

而且，即使不考虑项目推广效果的因素，绿色和平认为，测土配方施肥本身并不能解决农业污染问题。根据农业部数据，在 2007 年，在全国一半耕地上推广了测土配方施肥，减少不合理施用化肥 110 万吨^[49]，仅占当年化肥使用量的 2%。据此数据，即使测土配方施肥项目能推广到全国所有的耕地，也就只能减少化肥用量的 4%，相比于我国目前 15%~35% 的化肥利用率^[50]来讲，远远未能解决化肥流失、农业污染问题。只有通过生态农业的方法，才能真正避免农业污染，改善土壤质量，保证食物安全以及粮食供应。

5.2.2 生态农业推广情况

生态农业是一种科学的、对环境友好且不依赖于化肥的农业生产方式。生态农业重视有机物的循环利用，能够有效减少进入环境的有机污染物，减轻并逐渐改善水体养分过量情况。

中国政府对于推广生态农业是非常重要的，也认识到了生态农业在减少农业污染方面的作用。很多政策文件^D都提到了用生态农业的方法来解决农业污染问题。例如，《江苏省太湖水污染防治条例》提到“太湖流域各级地方人民政府以及有关部门应当加强农业环境保护和农村环境综合治理”，“发展有机农业和生态农业，减轻农业面源污染”。

但是，与中央、江苏省对生态农业的重视相反的是，在调查人员对宜兴、常州的走访中发现：虽然农业部早在 2004 年就认定整个太湖周边都是生态农业示范区，但是生态农业并没有在广大农民中得到很好的推广：调查中走访的所有农民都未曾听说过生态农业，也不知道附近是否有生态农业的示范基地；宜兴的部分受访农民虽然所在地区属于生态农业示范县，但是他们的耕作习惯没有任何的改变；甚至于我们采访到的农技人员也并不了解生态农业的具体含义。

5.2.3 基层农技体系功能缺陷

不论是用何种方法解决农业污染，都需要农民具有相应的耕作知识与技能，基层农技体系应该是农民耕作知识的直接来源。在我们的调查中发现，基层农技体系并没有在教育农民

^D，《江苏省太湖水污染防治条例》、《江苏省农业生态环境保护条例》、《关于加强重点湖泊水环境保护工作的意见》、以及 2005~2008 年连续 4 年的中央 1 号文件等

方面发挥其应有的作用。

- I 乡镇以下级别的基层农技体系行政上属于地方政府，业务上受上级农业部门的领导，受此双重领导的制约，乡镇农技站的工作人员未能把精力集中于农技推广工作上。
- I 农业部门未能给予基层农技站足够的支持，特别在生态农业方面，基层农技人员普遍缺乏生态耕作的基本知识与技能。甚至有农技人员告诉我们，只要按农技站的要求按时按量施用化肥与农药，就是在进行生态耕作了。

5.3 结论

通过这次调查我们发现：由于农民缺乏科学有效的指导，施肥具有很大的盲目性与随意性，太湖流域的大量使用化肥的现象仍未得到改善，农业污染源并未得到有效控制，大量的化肥仍在源源不断地进入太湖水中，水体中严重的营养过量使得蓝藻频繁爆发。

当地农技部门并未给农民提供足够的施肥技术指导，国家制定的测土配方施肥项目也未能有效地解决化肥的过量施用；而可以从根本上控制污染源、解决农业污染问题的生态农业耕作方式，则没有得到有效的推广。

6. 其他国家的富营养、有害藻华和死海区情况

6.1 欧洲

现在黑海中的氮含量已经达到了 20 世纪 60 年代时的四倍，有充足的证据表明，这种富营养化作用就是 20 世纪 60 年代至 70 年代间，向黑海中大幅排放的氮磷所导致的^[51]。直到最近，黑海西北部的浅海海域仍是世界上最大的死海区之一(40,000 平方公里)。由于很多中、东欧国家加入欧盟，或者正在加入的进程中，欧盟的治理和管理政策会对黑海的环境造成影响。例如，如果新成员国希望获得相同的技术以及实施化学农业，那么黑海西北部海域的缓慢自我修复将会前功尽弃，受到化学农业的威胁^[51]。

由于氮和磷的过量排入，波罗的海从17世纪时一个营养贫瘠、水体清澈的海域变成了一个养分过量，富营养化问题严重的海洋环境。河流中的氮占波罗的海氮排入总量的69%，其余31%来自大气（主要来自矿物燃料的燃烧）。根据保护波罗的海赫尔辛基委员会的报告，农业是养分过量的一个主要源头，在波罗的海，超过50%的氮和磷从农田进入海域^[2]。

6.2 美国：墨西哥湾

在美国，氮和磷污染扩散现象在显著地增加，导致了富营养化、有害藻华、死海区、珊瑚礁被破坏、海草和海藻区的消失、鱼类死亡、贝类中毒、海鸟和海洋哺乳动物的死亡^[10]。人类行为已经使流入密西西比河流域的氮增加了约 4 倍，一个受到富营养化作用影响最严重的海岸生态系统---位于墨西哥湾的一个面积巨大的死海区已经形成了。在 20 世纪 90 年代早期，这个死海区大约有 9500 平方公里，到 2000 年和 2007 年，死海区达到了 22000 平方公里^[15]。路易斯安娜州立大学的海洋协会理事、死海区研究专家 Nancy Rabalais 博士说：“大多数进入海湾的氮来自于农业活动。”通过她近期出版的研究结果表明，密西西比河流域中 67% 的氮来自农业，即来自密西西比河沿岸辽阔的农业耕种区。

6.3 墨西哥：加利福尼亚湾

科学家们估算，用于墨西哥西部雅基河谷的化肥中的氮，有将近 75% 流失进入大气并流入地表水。年复一年之后，估计有 11000 到 22000 吨的氮被冲入海洋。加利福尼亚湾原本缺乏氮，但历年的大量氮投入，对水体产生了非常显著的作用，日复一日的施肥和灌溉导致了藻华的爆发。

在 2005 年，一队来自美国斯坦福大学的研究人员通过卫星图片证实了过度使用氮肥与加利福尼亚湾沿海水域藻华爆发之间存在的密切关系^[52]。图片显示海岸附近浓稠的藻华都是由麦田流失的氮提供的养分而形成的。2006 年的 4 月至 5 月，锡那罗亚（墨西哥）的当地科学家记录了三次发生于此地的黄褐色藻华事件，其中有一次发生于 2006 年 5 月，造成了大量的鱼类死亡。据统计，死鱼尸体大约有 60 吨，分布在从 Las Cabras 到 El Palmito del Verde 之间 3 公里长的海岸线上。这是自 2004 年以来，第二次该种类型的有害藻华，在此地区造成的鱼类大规模死亡事件^[53]。

7. 解决措施

养分过量是造成全球有害藻华爆发和死海区域的根本原因，因此控制人类活动造成的过量养分投放是控制污染问题的唯一解决方案。具体措施可以总结为：

1. 从根源上截断人为的过量养分投放（如氮和磷）：

(1) 根治农业面源污染。藻华只是化学农业污染所造成后果的冰山一角，中国再也不能承受化学农业污染的巨大代价了。中国应立即行动起来，淘汰过度依赖化肥和农药的化学农业，转而生态农业生产方式。只有这样才能停止污染，蓝藻爆发、赤潮和死海区才不会进一步恶化。食物的产量和质量才能得到根本保证。

(2) 杜绝工业污水的排放，最大程度地减少污染排放，完善污水处理设施，实行清洁生产政策。

(3) 完善城市垃圾和污水处理，特别在污染集中的城市地带，禁止使用含磷产品（例如洗涤剂）。

(4) 逐渐淘汰矿物燃料的大量燃烧，从而减少向空气中释放氮的数量。

2. 保护河流沿岸、出海口和湿地植被，从而减少养分和土壤流失

结论和绿色和平的建议

治理藻华是一个长期且复杂的过程。以太湖为例，尽管江苏省政府在 2007 年蓝藻事件后关闭了环太湖地区的 1000 余家小化工厂，一定程度上减少了工业污染，但是并未能阻止今年太湖蓝藻的再次爆发。这是因为太湖的农业污染状况并未得到有效治理。在全球范围内，化学农业造成的严重农业面源污染是造成有害藻华频发的一个重要原因，在中国这一情况已经进入警戒状态。中国的水资源，无论是渤海湾、东海和南海，还是太湖、巢湖和滇池，都正受到农业污染的严重威胁。在这种情况下，绿色和平呼吁各级政府立即采取行动，直面农业污染的严重性。

2008 年的国际农业知识与科技促进发展评估报告(ISSATD)^E呼吁各国政府与国际组织转变思想，增加对于农业革新，特别是生态农业革新的投资。这份报告指出应放弃破坏性的、且依赖于化学品投入的工业化农业，转而采用对环境友好的现代化耕作模式，这有利于维护生物多样性和提高农民生活水平。人们需要意识到：生产更多，更好的食品并不需要以破坏农民生活和自然资源为代价，采取对地区、社会以及环境友好的生态农业耕作模式是最好的解决方案。虽然中国政府已经认识到了推行生态农业的必要性，并制定了一些相关政策，但

^E 国际农业知识与科技促进发展评估：简称 IAASTD，是由世界银行和联合国粮农组织在 2002 年发起的跨政府的农业科技知识国际评估。由联合国粮农组织、联合国开发计划署、联合国环境规划署、联合国教科文组织、世界银行和世界卫生组织共同资助。主席团由 30 个政府和 30 个民间社会代表组成。IAASTD 的报告由全球各地的 400 多位科学家共同撰写。中国科学家参与撰写，中国政府在 2008 年 4 月签署认可 IAASTD 的报告。

是绿色和平在调查中发现，生态农业政策的推行还未能引起足够重视从而转化成实际行动。

因此，绿色和平建议政府在短期以及长期内分别开展以下行动：

短期内：

(1) 直面农业污染，分析和评估如何能将区域内的有机污染物建立起立体循环和高效利用的模式，以达到减少污染物的目的。

(2) 开展针对农民的环境教育课程，帮助其认识到水污染、蓝藻爆发与自身耕种行为的关系，提高农民的环境意识。

(3) 推动区域内有机食品市场的发展，提高农民从事生态农业的积极性。

长期内：

(1) 加大对生态农业相关研究的投入，建立专项科学研究基金，同时根据各地的实地情况不断改进适应性生态农业耕种技术。

(2) 进行生态农业知识和能力的建设，为农民及其他利益相关人（如当地农技人员）提供有关生态农业的强化培训。

(3) 为广泛促进生态农业的实施，在制度上、结构上和政策上做相应改变。定期评估哪些措施可以帮助农民进行技术改进，哪些法律或政策可以有助于这些改变。

参考文献

- [1]Glibert, P. M., S. P. Seitzinger, C. Heil, J. M. Burkholder, M. W. Parrow, L. A. Codispoti, and V. Kelly. 2005. The role of eutrophication in the global proliferation of harmful algal blooms. New perspectives and new approaches. *Oceanography* **18**:198-209.
- [2]UNEP, and WHRC. 2007. *Reactive Nitrogen in the Environment: Too much or Too Little of a Good Thing*. Paris.
- [3]FAOSTAT, 2008. <http://faostat.fao.org/>
- [4]Novotny, V., A. J. Engle, X. Wang, D. Bedoya, L. Promakasikorn, X. Huang, and J. Farah. 2007. *Use of agricultural chemicals in China, India, Thailand and the Philippines and their environmental and human impact*. Boston, MA.
- [5]Huang, W., 2004. The pollutant budget in Lake Taihu. In Qin, B., W. Hu & W. Chen Eds., *Process and Mechanism of Environmental Changes of Lake Taihu*. Science Press, Beijing, 21–28 (in Chinese).
- [6]Kudela, R., G. Pitcher, F. Figueiras, T. Probyn, T. Moita, and V. L. Trainer. 2005. Harmful algal blooms in coastal upwelling systems. *Oceanography* **18**:184-187.
- [7]Diaz, R. J., J. Nestlerode, and M. L. Diaz. 2004. A global perspective on the effects of eutrophication and hypoxia on aquatic biota. Pages 1-33 *in 7th International Symposium on Fish Physiology, Toxicology and Water Quality*. U.S. Environmental Protection Agency, Ecosystems Research Division, Athens, Georgia, USA. EPA600/R-04/049, Tallinn, Estonia.
- [8]Dumont, E., J. A. Harrison, C. Kroeze, E. J. Bakker, and S. P. Seitzinger. 2005. Global distribution and sources of dissolved inorganic nitrogen export to the coastal zone: Results from a spatially explicit, global model. *Global Biogeochemical Cycles* **19**:GB4S02.
- [9]Rabalais, N. N., R. E. Turner, and W. J. Wiseman. 2002. Gulf of Mexico hypoxia, aka “the dead zone”. *Annual Review of Ecology and Systematics* **33**:235-263.
- [10]UNEP/GPA. 2006. *The State of the Marine Environment: Trends and processes*. UNEP/GPA, The Hague.
- [11]Diaz R.J. (2001). Overview of hypoxia around the world. *Journal of Environmental Quality* **30** (2): 275-281.
- [12]Jackson, J. B. C., M. X. Kirby, W. H. Berger, K. A. Bjorndal, L. W. Botsford, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J. A. Estes, T. P. Hughes, S. Kidwell, C. B. Lange, H. S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C. H. Peterson, R. S. Steneck, M. J. Tegner, and R. R. Warner. 2001. Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science* **293**:629-637.
- [13]UNEP. 2006. Further Rise in Number of Marine ‘Dead Zones’.
- [14]Purcell, J. E., S. Uye, and W. T. Lo. 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series* **350**:153-174.
- [15]Rabalais, N. N. 2007. Dead zone size near top end. Press Release July 28, 2007. Louisiana Universities Marine Consortium (LUMCON).
- [16]Liu, W., and R. L. Qiu. 2007. Water eutrophication in China and the combating strategies. *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology* **82**:781-786.
- [17]FAO 2006. *Livestock 's long shadow*. (environmental issues and options).

http://www.virtualcentre.org/en/library/key_pub/longshad/A0701E00.pdf

- [18]Howarth, R. W., A. Sharpley, and D. Walker. 2002. Sources of Nutrient Pollution to Coastal Waters in the United States: Implications for Achieving Coastal Water Quality Goals. *Estuaries* **25**:656-676.
- [19]Maranger, R., N. Caraco, J. Duhamel, and M. Amyot. 2008. Nitrogen transfer from sea to land via commercial fisheries. *Nature Geoscience* **1**:111-113.
- [20]Zhu, Z.-L., D. Norse, and B. Sun, editors. 2006. Policy for reducing non-point pollution from crop production in China. China Environmental Science Press, Beijing.
- [21]Chambers, P. A., M. Guy, E. S. Roberts, M. N. Charlton, R. Kent, C. Gagnon, and G. Grove. 2001. Nutrients and their impact on the Canadian environment. Agriculture and Agri-Food Canada, Environment Canada, Fisheries and Oceans Canada, Health Canada and Natural Resources Canada.
- [22]Glennie, E. B., C. Littlejohn, A. Gendebien, A. Hayes, R. Palfrey, D. Sivil, and K. Wright. 2002. Phosphates and alternative detergent builders -Final report. EU Environment Directorate.
- [23]Chu, Z., X. Jin, N. Iwami, and Y. Inamori. 2007. The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system. *Hydrobiologia* **581**:217.
- [24]Hu, Z. Z., S. Yang, and R. Wu. 2001. Long-term climate variations in China and global warming signals. *Journal of Geophysical Research* **108**:4614.
- [25]Liang, Y. 2008. Report: China's coastal areas still suffering from severe pollution. http://news.xinhuanet.com/english/2008-01/15/content_7428174.htm.
- [26]Dai, M., X. Guo, W. Zhai, L. Yuan, B. Wang, L. Wang, P. Cai, T. Tang, and W.-J. Cai. 2006. Oxygen depletion in the upper reach of the Pearl River estuary during a winter drought. *Marine Chemistry* **102**:159-169.
- [27]Tang, D., B. Di, G. Wei, I. H. Ni, I. Oh, and S. Wang. 2006. Spatial, seasonal and species variations of harmful algal blooms in the South Yellow Sea and East China Sea. *Hydrobiologia* **568**:245-253.
- [28]Qin, B., P. Xu, Q. Wu, L. Luo, and Y. Zhang. 2007. Environmental issues of Lake Taihu, China. *Hydrobiologia* **581**:3.
- [29]Huang, X. P., L. M. Huang, and W. Z. Yue. 2003. The characteristics of nutrients and eutrophication in the Pearl River estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin* **47**:30-36.
- [30]中华人民共和国环境保护部.2008 Sea of change needed 25-10-2006. http://english.zhb.gov.cn/zwxh/hjyw/200610/t20061023_94978.htm
- [31]Zhang, W., W. Shuxia, J. Hongjie, and H. Kolbe. 2004. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies. I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century. *Scientia Agricultura Sinica* **37**:1008-1017.
- [32]Zhu, Z. L. and Q. X. Wen. 1994. Soil nitrogen in China. Jiangsu Science and Technology Press, Nanjing, China 1-303 (in Chinese).
- [33]Zhou, Huaidong, Peng Wenqi, Du Xia 等 2004. Assessment on the quality of surface water in China. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 4.
- [34]Duan, S. W., S. Zhang and H. Y. Ituang. 2000. Transport of dissolved inorganic nitrogen from

- major rivers to estuaries in China. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **57**:13-22.
- [35]Xuhai. 2008. Nitrogen pollution status of various types of passing-by water bodies in upper reaches of Taihu Lake. *Chinese Journal of Ecology* **27**:43-49.
- [36]Townsend-Small, A., M. McCarthy, J. Brandes, L. Yang, L. Zhang, and W. Gardner. 2007. Stable isotopic composition of nitrate in Lake Taihu, China, and major inflow rivers. *Hydrobiologia* **581**:135.
- [37]Gao, C., J. G. Zhu, J. Y. Zhu, X. Gao, Y. J. Dou, and Y. Hosen. 2004. Nitrogen Export from an Agriculture Watershed in the Taihu Lake Area, China. *Environmental Geochemistry and Health* **26**:199.
- [38]Zeng, C. 2007. China paying dearly for cleaner rivers. *Asia Times Online*, Shenzhen.
- [39]Yardley, J. 2007. China to spend \$14 billion to clean up Lake Tai. October 28, 2007. *International Herald Tribune*.
- [40]新京报网 (2007), 江苏拟投一千亿治理太湖污染.2007.10.26.
<http://www.thebeijingnews.com/news/guonei/2007/10-26/018@082100.htm>
- [41]新华日报 (2007), 我省安排 20 亿太湖治理专项资金. 2007,11.1.
http://xh.xhby.net/html/2007-11/01/content_6041872.htm,
- [42]China Daily, July 12, 2007. Yunnan outlines plan to clean Dianchi Lake.
http://www.chinadaily.com.cn/china/2007-07/13/content_5434797.htm
- [43]China Daily, July 6, 2004. Fish in inland sea in danger of extinction.
http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2004-06/07/content_337095.htm
- [44]中国发展门户网 (2007), 世界银行 9600 万美元贷款帮助整治珠江污染.2007.3.22
http://cn.chinagate.com.cn/worldbank/2007-03/22/content_2370278.htm
- [45]Reuters. March 22, 2007. World Bank loans China \$96 mln for delta environment.
<http://www.alertnet.org/thenews/newsdesk/HKG334925.htm>
- [46] 江苏测土配方施肥网 <http://www.chinafertilizer.gov.cn/KnowledgeShow.asp?ID=21>
- [47] 新华网江苏频道
http://www.js.xinhuanet.com/xin_wen_zhong_xin/2008-06/03/content_13437426.htm
- [48] 宜兴市政府网站
<http://www.yixing.gov.cn/gb/zgyx/zwgk/zfwj/node298/node300/userobject1ai5202.html>
- [49] 农业部测土配方施肥有关情况新闻发布会, 2008 年 4 月 1 日:
http://www.china.com.cn/zhibo/2008-04/01/content_13931317.htm
- [50] 陈同斌等 2002 中国化肥利用率的区域分异 陈同斌; 曾希柏; 胡清秀;地理学报, 2002 年 05 期
- [51]Mee, L. D. 2001. Eutrophication in the Black Sea and a basin-wide approach to its control. Pages 71–91 in B. Von Bodungen and K. Turner, editors. *Science and Integrated Coastal Management. Proc. Dahlem Workshop, 12-17 December 1999, Berlin.* 71-94.
- [52]Beman, J. M., K. R. Arrigo, and P. A. Matson. 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature* **434**:211-214.
- [53]Cortés-Altamirano, R., R. Alonso-Rodríguez, and A. Sierra Beltrán. 2006. Fish mortality associated with *Chattonella marina* and *C. cf. ovata* (Raphidophyceae) blooms in Sinaloa (Mexico). *Harmful Algae News* **31**:7-8.