

— 기술정보 —

미국내 미생물 수질규제 방안의 최신동향과 크립토포리디움 (*Cryptosporidium*) 연구

— Technical Information —

The Study on the Latest Trend of the Drinking Water Regulation for Microorganism and *Cryptosporidium* in UAS

류호돈^{1,*} · 김선준²

Ho Don Ryu^{1,*} · Sun Joon Kim²

1 미국 아리조나 주립대(Arizona State University), 미과학재단 수질센터

2 한양대학교, 지구환경시스템 공학부

1. 서론

21세기 들어 미국에서 최초로 수질규제 대상이 된 미생물은 우리나라에서는 생소하지만 서구 선진국을 중심으로 비교적 잘 알려진 크립토포리디움(*Cryptosporidium*)이라는 미생물이다. 1993년 미국 위스콘신주 밀워키시에서의 대규모 질병 발발을 기점으로 *Cryptosporidium*에 대한 관심이 미국뿐만 아니라 여러 선진국등지에서 폭발적으로 증가했다. 당시 40여만 명이 감염되고 100여 명이 이상을 치사한 대규모의 참사였다. 그 후로 현재까지 미국을 포함한 서구 선진국들과 일본 등지에서 *Cryptosporidium*에 대한 연구가 집중적이고 포괄적으로 이루어지고 있다. 그러나 안타깝게도 개발도상국이나 후진국 등지에서는 *Cryptosporidium*의 연구가 거의 전무할 뿐만 아니라 검출방법 등의 기초적인 정보 조차도 잘 알려져 있지 않은 실정이다.

미국에서는 연방안전식수규정(Safe Drinking Water Act) 하에서 모든 음용수 관련 규제사항들이 만들어지며 관리되고 있다. 미국 환경청(USEPA)에서는 연

방안전식수규정을 1974년에 제정한 이래 1986년과 1996년 두 차례에 걸쳐 개정을 하였다. 80년대 후반에 제정된 법안들은 박테리아, 바이러스 및 *Giardia* 등을 주로 다루었는데 90년대 중반에 들어서야 비로소 *Cryptosporidium*를 다루는 법안들이 등장하게 되었다(Roberson, 2003; Pontius, 2002 and 2003). 이 법안들은 2005년 현재까지 지속적으로 개정이 되고 있다. 그러나 아무리 엄격한 수질규정을 만들고 이를 적절하게 적용해도 상수원으로 부터 가정까지 복잡하게 얽히고 산재되어 있는 오염경로를 기술적으로 완벽하게 막는다는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 음용수내 *Cryptosporidium*을 대상으로 직접 규제를 하는 것도 수행상의 많은 어려움점들 때문에 규제 실시전에 오랜 기간의 준비과정이 필요하다. 따라서 이에 대한 보안책으로 최근들어 상수 원수의 모니터링에 대한 중요성이 대두되었다.

상수 원수에서의 미생물 조사는 음용수 규제 방안을 마련하는데 있어서 사전에 반드시 수행 되어져야 한다. 미국과 영국에서는 음용수 관련 법 제정 시 *Cryptosporidium* 모니터링 프로그램을 고려하고 있으며 특히 영국은 *Cryptosporidium* 모니터링을 상수 원수 뿐

*Corresponding author Tel: +1-480-965-7978, FAX: +1-480-965-0557, E-mail: hodon@asu.edu (Ryu, H.D.)

만 아니라 음용수로까지 확대 수행하고 있다. 미국에서는 2005년 하반기 내지 2006년 상반기 중 상수 원수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링 관련 법이 공포될 예정이다(USEPA, 2003). 따라서 공포 후 최소한 6개월 내에 미 전역에서 *Cryptosporidium* 모니터링 프로그램이 실시될 것이다.

21세기 새로운 시대에 선진국의 문턱에 있는 우리나라로서는 이에 걸맞는 수준의 음용수 관련 보건 정책이 뒤따라야 할 것이다. 본 고에서는 21세기의 초두에 우리의 건강을 위협하고 있는 수인성 미생물 중 앞으로 여러 선진국 등지에서 중점적으로 연구될 것으로 판단되는 *Cryptosporidium*을 소개하고자 한다. 또한 미국에서 최근들어 제정되고 공포를 눈앞에 두고있는 *Cryptosporidium* 관련 법안에 대한 고찰을 하고자 한다.

2. *Cryptosporidium* 배경지식

*Cryptosporidium*에 의한 질병은(Cryptosporidiosis) 1955년 칠면조 무리들에서(turkey) 집단 발발이 처음 보고된 이후 주로 조류 동물들을 중심으로 관측되었다(Dubey et al., 1990; Current and Garcia, 1991). Cryptosporidiosis는 1971년 cattle에서 처음 발견되고, 1972년에는 심한 설사를 앓는 환자에게서 *Cryptosporidium parvum*이 검출되었다(Dubey et al., 1990; Juranek, 1995). 그 후 1980년대 들어서 *C. parvum*이 설사병을 유발시키는 주요 병원성 미생물로 알려지게 되었다. *Cryptosporidium* 감염시 면역력이 강한 사람에게는 설사 또는 어지러움증 등 비교적 증상이 심하지 않은 질병을 동반한다. 그러나 노인, 유아, 또는 후천성 면역 결핍증 환자등 면역력이 현저히 떨어지는 사람들에게는 치사의 위험까지 일으킬 수 있다.

기생 미생물(parasite)인 *Cryptosporidium*은 강이나 호수등 일반적인 자연환경 내에서 숙주가 존재하지 않는 한 두터운 셀벽을 가지는 원구 모양의 oocyst를 형성하여 자신을 보호하며 장시간 생존한다. 또한 이러한 독특한 구조의 oocyst는 수처리장에서 일반적으로 사용되어지는 염소 소독처리에도 매우 강한 저항력을 보인다. *Cryptosporidium*의 전염은 주로 3가지 경로를 통해 이루어진다. 먼저 물과 음식을 통한 구강

경로, 성적접촉 과 불결한 위생상태등으로 인한 사람 대 사람, 또는 간간히 사람과 동물간 접촉을 통한 전염 등이다. 현재까지 전 세계 여러 곳에서 이루어진 역학조사의 결과에 의하면 여러 *Cryptosporidium* 종들 중 인간의 질병을 유발하는 종들은 다음과 같은 5종으로 좁혀진다; *C. hominis*, *C. parvum*, *C. meleagridis*, *C. canis*, and *C. felis*. 또한 흥미롭게도 면역력이 강한 환자에게서는 *C. hominis*과 *C. parvum* 두 종만이 검출된 반면, 면역력이 약한 환자에게서는 이 두종들이 외에도 여러 다른 종들과(*C. felis*, *C. meleagridis*, *C. canis*, and possibly *C. muris*) 새로운 *C. parvum* genotypes(dog and deer genotypes)들이 검출되었다(Xiao et al., 2000; Caccio et al., 2002). 이는 인간의 질병에 관련이 있는 *Cryptosporidium* 종이 과거에 우리가 생각했던 것 이상으로 많을 수도 있다는 가설을 뒷받침 해준다. 신체건강한 성인 남성을 대상으로 한 Dupont 등의(1995) *Cryptosporidium* 감염 연구에 의하면, Infectious Dose 50(ID50)는 132마리 정도이다. 다시말해 면역력이 강한 사람의 경우 많은 수의 *Cryptosporidium*에도 견딜 수 있음을 보여주는 결과이다. 그러나 앞에서도 언급했다시피 면역력이 약한 사람에게는 단 1개의 oocyst도 치명적일 수 있음을 간과해서는 안될 것이다.

3. *Cryptosporidium* 모니터링 연구

현재 상수 원수 또는 음용수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링은 선진국을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 특히 미국은 1990년대 초반 부터 전국적으로 *Cryptosporidium* 실태 조사를 꾸준히 해와서 상당량의 자료가 축적 되어있다(LeChevallier et al., 1991a, 1991b, 1991c, 2003; Aboytes et al., 2004). 21세기에 들어서면서 *Cryptosporidium* 관련 연구는 상수 원수 뿐만 아니라 정수 처리된 음용수에서의 감염성(infectious) *Cryptosporidium* 조사로 까지 확대되고 있다. 최근 미 전역을 대상으로 실시된 상수 원수와 음용수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링 결과가 발표되었다. 먼저 상수 원수의 경우, 미국내 6개 강과 호수에서 약 600개 시료를 채취해 표준방법인 EPA method 1623와 감염성 여부를 판단할 수 있는 Integrated Cell Culture-PCR(ICC-PCR)를 이용해 *Cryptosporidium*를

검출하였다(LeChevallier et al., 2003). 표준방법에 의한 *Cryptosporidium*의 검출은 593개의 시료중 60개에서 이루어져 10.1%의 검출율을 보였고, ICC-PCR에 의한 감염성 *Cryptosporidium*의 경우에는 560개의 시료중 22개에서 양성반응이 나와 3.9%의 검출율을 보였다. 이 결과는 현재 미국에서 일반적으로 사용되는 정수 시스템을 고려했을 시 안전한 음용수 확보를 위해서는 최소 3log(99.9%) 이상의 *Cryptosporidium* 제거율을 달성함을 의미한다. 특히 몇몇의 시료에서는 매우 높은 농도가 검출되기도 하였는데 이는 추가적인 처리 과정의 도입이 필요함을 보여주는 방증이라 하겠다. 음용수의 경우는 82개의 정수처리장에서 총 1,690개의 100 리터 물시료를 채취하여 ICC-PCR 방법을 사용해 감염성 *Cryptosporidium*을 검출하였다. 1,690개의 시료중 24개에서(1.4%) 양성반응이 나왔으며 미생물 위험성 평가(microbial risk assessment)를 수행한 결과 감염 위험도(risk of infectiou)가 미국환경청(USEPA)의 음용수 내 허용가능수준의 약 100배 가량 높은 것으로 나타났다(Aboytes et al., 2004).

우리나라에서의 수인성 *Cryptosporidium* 관련 연구는 서울대학교 응용화학부의 윤제용 교수팀과 국립환경연구원의 정현미 박사팀 등이 주도하고 있다. 상수원수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링 관련 연구는 현재까지 국내 학술지를 통해 간혹 발표가 되기도 하지만 대부분 초보적 실태조사에 불과 하였다. 윤제용 교수팀의 연구 결과에 의하면 한강과 금강의 원수에서 *Cryptosporidium* 이 총 14개의 시료 중 11개에서 검출되었고 농도는 0-350oocysts/100L이었다(김 등, 2000). 이 연구결과를 가지고 국내 다른 상수원수에서의 *Cryptosporidium* 존재여부 자체를 판단하고 일반화할 수는 없다. 그렇지만 국내 인구의 거의 절반에 달하는 사람들이 상수원수로 이용하는 한강과 금강에서 높은 농도의 *Cryptosporidium*이 검출되었다는 사실은 우리가 주목해야 할 결과이다.

Cryptosporidium 모니터링 프로그램은 미생물 검출방법의 기술적인 어려움 뿐만 아니라 많은 비용이 필요하다. 병원성 미생물의 직접 검출 방법의 대안으로 결과를 빠르게 얻을 수 있을 뿐만 아니라 실험실에서 손쉽게 사용할 수 있는 지시 미생물을 찾기 위한 여러 연구가 수행되었지만 현재까지 적합한 지시 미생물을 찾기 못하고 있다(Rose et al., 2002). 따라서 현

재의 일반적인 추세는 *Cryptosporidium* 모니터링 수행상의 여러 어려운 점들이 상존함에도 불구하고 그 효용성에 대해 집중적으로 논의를 하고 있는 실정이다. 최근 미국과 영국에서 제정된 음용수 관련 법률에는 상수 원수의 *Cryptosporidium* 모니터링 프로그램이 포함되었다. 상수 원수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링은 음용수내 수질규제를 제정하는데 있어서 필수적인 정보를 제공한다. 또한 실제 규모 수처리장에서의 미생물 제거 효율성 평가, 오염원 조사, 강우에 의한 오염물질 유입, 질병 역학 연구(epidemiology), 마지막으로 미생물 위험성 평가(microbial risk assessments)를 수행하기 위한 기초 자료 제공 등 많은 부대 효과를 가져온다.

4. *Cryptosporidium* 수질규제

세계보건기구(WHO)에서는 1979년에 바이러스에 의한 수인성 질병문제의 중요성을 인식해서 오랫동안 그 대책 마련에 많은 노력을 기울였다. 그 일례로 세계보건기구는 음용수내에 바이러스가 존재하지 않도록 관리할 것을 권장해왔다. 미국에서도 연방안전식수규정(National Safe Drinking Water Act)의 정수처리 효율에 관한 지침에 의거, 정수처리공정을 통해 4 log(99.99%) 이상의 바이러스를 제거해야한다고 명시하고 있다. 여러 다른 선진국 등에서도 이와 유사한 수질규정 등을 제정해서 깨끗한 음용수를 얻기 위한 노력에 주력하고 있다. 그러나 *Cryptosporidium* 관련 규제는 선진국들조차도 단지 처리규정만 있을뿐 음용수 내에서의 제한농도와 같은 명확한 규제는 확립되어 있지 못한 실정이다.

미국의 경우 연방안전식수규정에 의해 80년대 후반에 제정된 미생물 관련 최초의 법규들인 Surface Water Treatment Rule(SWTR)과 Total Coliform Rule(TCR)은 박테리아, 바이러스 및 지아디아(*Giardia*) 등을 다루었다(USEPA, 1989). 90년대 중반에 들어서야 비로소 *Cryptosporidium*를 다루는 법규인 Enhanced Surface Water Treatment Rule(ESWTR)이 등장하게 되었고 이 법안은 현재까지 지속적으로 개정이 되고 있다. 1998년에 제정된 Interim ESWTR(USEPA, 1998)에 의하면 *Cryptosporidium*에 대한 최대 허용기준목표는 불검출이다. 이 법규는

Table 1. IESWTR에서 *Cryptosporidium* 처리효율 기준

원수에서의 <i>Cryptosporidium</i> 농도(oocysts/L)	처리효율	비 고
>0.075(7.5 oocysts/100 L)	3-log(99.9%)	표층수(surface water)나 표층수의 직접적인 영향을 받는 지하수
>1(100 oocysts/100 L)	4-log(99.99%)	(ground water)를 원수로 사용하는 10,000 명 이상의 소비자에게 음
>3(300 oocysts/100 L)	4.5-log(99.997%)	용수를 공급하는 중대형 규모의 수처리장에 적용

Table 2. LT2ESWTR Bin 분류표

수처리장 Bin 카테고리	원수에서의 <i>Cryptosporidium</i> 평균농도(oocysts/L)	IESWTR ¹ 에 추가적으로 요구되는 처리효율
1	<0.075	0 (No action)
2	≥0.075 & <1.0	1-log treatment (90%)
3	≥1.0 & <3.0	2-log treatment ² (99%)
4	≥3.0	2.5-log treatment ² (99.7%)

¹IESWTR에서 규정된 전통적인 수처리장에서의 *Cryptosporidium* 처리효율은 3-log 처리 (99.9%)로 가정한다.

²2.0 또는 2.5-log 처리중 최소 1-log 처리는 오존, Chlorine dioxide, UV, 멤브레인, bac/catridge 필터, in-bank filtration을 이용해서 획득되어야만 한다.

*Cryptosporidium*의 처리 효율에 관한 내용이 주를 이루고 있는데 **Table 1**에 요약 정리 하였다.

미국내 상수 원수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링 프로그램은 1996년 Information Collection Rule(ICR)에서 처음 도입되어 1997년 7월부터 1998년 12월까지 대형 수처리장(100,000명 이상) 만을 대상으로 실시 되었다(USEPA, 1996). ESWTR의 최종개정이라 할 수 있는 *Cryptosporidium*의 포괄적인 규제인 Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule (LT2ESWTR)는 2005년 하반기나 2006년 상반기중에 공표될 예정으로 적용대상이 비교적 작은 규모 (10,000명 이상)의 수처리장까지 포함하고 있다 (USEPA, 2003). 이 법안은 ICR에 비해 훨씬 짜임새 있고 강도 높은 원수 모니터링 프로그램이 준비되었고, 또한 모니터링 이후 원수의 질에 따라 수처리장에서의 처리 효율과 관련된 규제 사항들이 매우 자세하게 만들어 졌다. 간략하게 이 법안에 대해 소개하자면 먼저 해당되는 수처리장의 상수 원수를 최소 24개월 간 모니터링 후 *Cryptosporidium*의 평균 농도에 따라 각 정수 처리장에 대한 법 발효 시점이 결정된

다. 상수 원수에서의 *Cryptosporidium* 모니터링을 주요 골자로 하고 있는 이 법은 공표 후 늦어도 6개월 이내 표층수를 상수 원수로 사용하고 있는 수처리장에서 *Cryptosporidium* 실태 조사를 수행 함으로써 시작된다. 모니터링 프로그램 수행중 얻어진 *Cryptosporidium*의 평균농도에 따라 각 정수장에서의 부가적인 처리공정의 설치 여부를 결정하게 된다. 따라서 *Cryptosporidium*의 농도를 결정하는 것이 본 법안의 핵심 부분이라 할 것이다. 최소 24개월 간의 모니터링에서 얻어진 상수 원수에서의 *Cryptosporidium* 평균 농도에 따라 각 정수장은 4개의 카테고리로 분류되어진다(**Table 2**). 또한 부가적인 *Cryptosporidium*의 제거를 필요로 하는 수처리장은 미국환경청에서 제시한 여러 처리 방법들 중 각 정수장의 사정에 맞는 처리 방법들을 기준에 사용하고 있는 정수 처리 라인에 부가 설치해야 한다.

미국에서는 최근 10년간 제정된 음용수에서의 미생물 관련 법규들은 주로 *Cryptosporidium*을 중점적으로 다루고 있다. 반면 국내에서는 수질환경 보전법 시행규칙 제2조에 의거하여 29종의 수질오염물질이 규정되어 있지만 대부분의 경우 중금속류와 유기물질을 포함하는 화학적 유해 물질이고 미생물은 대장균 단 1종이 포함되어 있을 뿐이다. 2002년 정수기준 개정시 장 바이러스가 포함되었고 곧 *Giardia* cysts 관련 기준 역시 시행될 예정이다. 그러나 아직까지 국내에서의 *Cryptosporidium* 관련 규제 법안 제정은 요원한 실정이다.

5. 결론

최근들어 일반 시민들의 사회 참여도가 급속히 늘어가는데 시점에서 건강과 밀접한 관련이 있는 환경문제는 삶의 질 향상의 관점에서 중요한 화두가 되고 있다. 보다 깨끗하고 안전한 양질의 음용수 확보는 이러한 일완의 하나로 국민 보건 정책의 한 축으로

다뤄져야 할 매우 중요한 사안이다. 먹는물에 대한 우리 국민들의 생각과 기대는 경제수준에 비해 매우 높다. 따라서 음용수 내 병원성 미생물 연구는 보다 나은 삶을 영위하기 위한 한 방편으로 온 국민에게 닥칠 수 있는 위협 요인을 제거한다는 취지로 부터 출발한다고 할 수 있다. 조만간 선진국으로의 도약을 눈앞에 두고 있는 이 시점에서 우리나라는 충분한 수원의 확보는 물론이고 양질의 음용수를 얻기위한 노력을 경주해야 할 때이다.

음용수에서의 미생물 관련 규제는 화학물질들에 비해 비교적 늦게 시작 되었다. 또한 선진국에서도 규제 사항의 수는 매우 제한적이다. 그나마 이들도 대부분의 경우 지시미생물(indicator microorganisms) 규제가거나, 정수 처리장에서의 처리 효율과 관련된 것들 일색이다. 실제 인간의 건강에 직접 위협을 끼칠 수 있는 병원성 미생물의 규제는 거의 찾아보기가 힘들다. 최근 미국과 영국에서는 음용수내 *Cryptosporidium* 관련 규제 법안이 제정되고 실시되는 단계에까지 이르렀다. 조만간 다른 선진국에서도 이와 관련된 법안 제정에 박차를 가할 것으로 예상된다. 현재까지 우리나라에서는 *Cryptosporidium*에 대해서는 음용수는 물론이고 상수 원수에 대한 규제사항 조차도 마련되어 있지 못하고 있는 실정이다. 또한 매우 제한된 수준에서 한강과 금강등의 상수 원수에서 *Cryptosporidium* 모니터링이 수행되었다. 여건상 우리나라에서는 지금 당장 음용수내 *Cryptosporidium* 관련 규제 법안 제정이 이루어지기는 힘들 것으로 보인다. 그러나 선진국 대열에 빠른 속도로 진입하고 있는 우리나라의 경제규모와 전국민의 매우 높은 환경의식을 고려해 볼때 음용수내 미생물 관련 규제는 앞으로 더욱더 엄격해 질 것은 자명하다. 음용수내 *Cryptosporidium* 관련 규제 법안을 수립하기 위해서는 고려해야 할 사안들이 매우 많은데 이중 원수에서의 *Cryptosporidium*을 비롯한 병원성 미생물의 모니터링은 최우선적으로 고려해야 할 사안이다. 특히 모니터링 기간, 법률적용 대상 정수장, *Cryptosporidium* 검출방법의 선택, 모니터링 결과에 따른 정수처리장 내 처리공정 재설비 및 관련된 정책수립 방향 제시 등은 법률 제정시 반드시 고려해야 할 사항들 이다. 본 고에서는 최근 제정된 미국내 상수 원수에서의 *Cryptosporidium* 규제 법률인 LT2ESWTR의 모니터링

프로그램을 중심으로 위 사항들을 소개하였다. 물론 여러 여건상 미국의 정책을 우리나라에 직접 적용시킬 수는 없다. 그러나 우리 현실에 적합한 모니터링 프로그램의 수립 시 사용할 수 있는 참고 자료로서의 유용성은 매우 크다 할 것이다. 또한 미생물 관련 규제방안을 수립 할때는 법안 실시에 따르는 경제적인 문제를 반드시 고려해야 한다. 다행스러운것은 우리나라의 경우 비교적 모니터링 대상 지역이 넓지가 않고 그 수도 많지가 않다. 급속도로 발전하고 있는 우리나라의 경제 규모를 고려할 시 이 정도의 투자는 그리 부담이 되지 않는 것으로 판단된다. 최소의 비용으로 최대의 효과를 이루어 우리 국민의 건강을 지킬수 있는 참신한 수질관련 정책을 기대해 본다.

참고문헌

1. 김혜선, 윤제용, 염철민 (2000) 국내 상수원수 및 하수에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 포낭 검출. *한국물환경학회지*, **16**(5), pp. 585-594.
2. Aboytes, R., G.D. Di Giovanni, F.A. Abrams, C. Rheinecker, W. Mcelroy, N. Shaw, and M.W. LeChevallier (2004) Detection of infectious *Cryptosporidium* in filtered drinking water. *J. Am. Water Works Assoc.*, **96**(9), pp. 88-98.
3. Caccio, S., E. Pinter, R. Fantini, I. Mezzaroma, and E. Pozio. (2002) Human infection with *Cryptosporidium felis*: Case report and literature review, *Emerging Infectious Diseases*, **8**(1), pp. 85-86 (Dispatches).
4. Current, W.L. and L.S. Garcia. (1991) *Cryptosporidiosis*, *Clin. Microbiol. Rev.*, **4**, pp. 323-328.
5. Dubey, J.P., C.A. Speers, and R. Fayer (1990) *Cryptosporidiosis of Man and Animals*, CRC Press, New York.
6. Dupont, H., C. Chappell, C. Sterling, P. Okhuysen, J. Rose, et al. (1995) Infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy volunteers, *N. Engl. J. Med.*, **332**, pp. 855-859.
7. Juranek, D.D. (1995) *Cryptosporidiosis: sources of infection and guidelines for prevention*, *Clin. Infect. Dis.*, **21**(Suppl. 1), S57-S61.
8. LeChevallier, M.W., W.D. Norton, and R.G. Lee (1991a) Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in surface water supplies, *Appl. Env. Microbiol.*, **57**, pp. 2610-2616.
9. LeChevallier, M.W., W.D. Norton, and R.G. Lee (1991b) *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in filtered drinking water supplies, *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, pp. 2617-2621.
10. LeChevallier, M.W., W.D. Norton, R.G. Lee, and J.B. Rose. (1991c) *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies.

- American Water Works Association Research Foundation*, Denver, CO.
11. LeChevallier, M.W., G.D. Di Giovanni, Jennifer L. Clancy, Zia Bukhari, Shan Bukhari, Jeffrey S. Rosen, Jose Sobrinho, and Michelle M. Frey (2003) Comparison of method 1623 and cell culture-PCR for detection of *Cryptosporidium* spp. in source waters, *Appl. Environ. Microbiol.*, **69**, pp. 971-979.
 12. Pontius, F.W. (2002) Regulatory compliance planning to ensure water supply safety, *J. AWWA*, **94**, pp. 52-64.
 13. Pontius, F.W. (2003) Update on USEPA's drinking water regulations, *J. AWWA*, **95**, pp. 57-68.
 14. Roberson, J.A. (2003) Complexities of the new drinking water regulations-everything you wanted to know but were afraid to ask, *J. AWWA*, **95**, pp. 48-56.
 15. Rose, J.B., Huffman, D.E., Gennaccaro, A. (2002) Risk and control of waterborne cryptosporidiosis, *FEMS Microbiol. Rev.*, **26**, pp. 113-123.
 16. US Environmental Protection Agency (1989) National primary drinking water regulations; filtration and disinfection; turbidity; *Giardia lamblia*, viruses, *Legionella*, and heterotrophic bacteria, *Fed. Reg.*, **52**(24), pp. 27486.
 17. US Environmental Protection Agency (1996) ICR Microbiology Laboratory Manual. *EPA-600-R-95-178*, Washington, D.C.: Office of Research and Development.
 18. US Environmental Protection Agency (1998) National primary drinking water regulations: interim enhanced surface water treatment; *Final Rule. Part V. EPA, 40 CFR Parts 9, 141 and 142. Fed. Reg.*, **63**(24), p. 69478.
 19. US Environmental Protection Agency (2002) National primary drinking water regulations: long term 1 enhanced surface water treatment rule; *Final Rule. Fed. Reg.*, **67**(9), p. 1812.
 20. US Environmental Protection Agency, (2003) National primary drinking water regulations: long-term 2 enhanced surface water treatment rule; *Proposed Rule. Fed. Reg.*, **68**(154), p. 47640.
 21. Xiao, L., L.M. Morgan, R. Fayer, R.C.A. Thompson, and A.A. Lal (2000) *Cryptosporidium* systematics and implications for public health, *Parasitology Today*, **16**(7), pp. 287-292.