

식품오염원으로서의 공중부유 미생물의 특성과 그 측정

크라운 제과(주) 기술연구소
강 영 재

I. 서 언

유생산과 가공공장의 위생문제에 관해 연방정부와 주정부, 학계, 유관업체들의 협력과 지원으로, 그리고 Grade A Pasteurized Milk Ordinance (PMO), Good Manufacturing Practice(GMP), Hazard Analysis Critical Control Point(HACCP), 3-A Sanitary Standard 등의 도움으로 양질의 원유와 유제품을 대량으로 생산하고 있는 미국에서는 최근 listeria 충격파로 인해 또한번 자체점검을 하며, 가려져서 보이지 않았던 핫점을 찾아 시정하려고 총력을 경주하고 있다.

한 예로, FDA에서 실시한 Dairy Initiative Inspection이라는 program에서 대부분의 유가공 회사를 대상으로 설비 line의 무단 변경 여부, 위생점검과 제품의 미생물적 안전성 검사를 행한 결과 상당수의 제품에서 listeria를 위시한 yersinia, salmonella, campylobacter 등의 오염균을 발견하고 수거 폐기시켰다. 이 과정에서 드러난 특이한 점은 아이스크림 제품이 오염이 많은 것과 그 오염경로가 규명되지 않는 점이다. 이러한 상황에서 FDA와 Milk Industry Foundation/International Ice Cream Association에서는 유가공장 환경의 오염방지에 관한 guide line을 설정하면서 이러한 병원균들의 오염이 공기매체에 의한 post-pasteurization contamination일 가능성이 높다고 지적하고 공기의 질에 관심을 가지도록 촉구했다(1). 그러나 이점은 1990년대 초부터 한 두편씩의 연구논문이 발표되어 왔으나

최근에야 연구동조체제 형성과 체계적 연구가 진행되고 있다. 우리의 유가공 산업 뿐아니라 여타 식품 산업에서도 이 문제에 관심을 갖고 환경위생 개선과 함께 제품의 공기매체 미생물 오염방지에 노력하여 제품의 안전성과 저장성을 높여 수익성을 높이고 수입개방에 대비하여 국제경쟁력을 갖도록 해야 할 것이다.

II. 공중부유 미생물 오염이 제품의 질에 미치는 영향

공중부유 미생물 오염이 제품의 질에 미치는 영향은 제품의 종류, 오염된 미생물의 종류, 수, 오염 후의 보관상태와 기간에 따라 다르지만 유제품을 대상으로 일반화 시켜 생각할 때 1) 저장성의 단축, 2) 상품가치 상실, 3) 식중독 유발, 4) 제품제조 실패 등을 들 수 있다. 저장성의 단축은 주로 Pseudomonas 등의 저온성 세균오염에 의한 시유, cottage cheese, whipping cream, butter 등의 냉장 판매층 단기간에 이미, 이뤄가 발생하는 것이며, 상품가치 상실은 저장성 단축을 포함하여 오염 곰팡이 포자의 성장으로 인한 yoghurt나 cheese의 변패를 생각할 수 있으며, 식중독 유발은 병원성 미생물 오염과 성장으로 미생물이 분비한 독소에 의하거나 미생물의 체내 침입에 의한 두통, 구토, 설사 등을 수반한 Salmonellosis, Listeriosis, Yersiniosis 등의 집단발 bacteriophage 오염에 의한 cheese나 yoghurt

제조실패를 들수 있다. 이들은 모두 기업 이미지를 나쁘게 하여 막대한 경제적 손실을 초래할 뿐 아니라 국민건강을 위협하고 유제품의 안전성에 대한 소비자의 인식도 나쁘게 하여 낙농발전도 저해하게 된다.

Ⅲ. 제품의 공기노출

제품의 공기에 노출되는 경우는 제품의 제조 공정마다 다르므로 몇가지 예를 살펴 보도록 한다. 시유의 경우 원유가 열처리를 거친 후 파이프를 통하여 저장탱크와 filler로 보내어 지고 또 filler에서는 포장용기(유리병, carton, PE통등)에 담는데, 저장탱크에서와 포장용기에 담길 때 공기와 직접 접촉이 일어나며 열교환기, 파이프, 저장탱크, filler, 포장용기의 내면 등이 공기에 오염된 후 우유가 닿아 간접오염될 수 있다. 아이스크림이나 whipping cream 같이 공기를 제품에 주입 증량하는 경우와 제품의 포장시, cheese나 butter를 제조할 때의 open vat process나 고형제품을 포장할 때와 같이 공정이 공기에 노출되게 되어 있는 경우 등을 들수 있다. 멸균유 제조공정과 같이 특수한 포장기계를 사용하는 경우를 제외하면 대부분의 제품은 열처리 후 포장되므로 공기의 노출에 의한 postpasteurization contamination 가능성을 생각해 보아야 할 것이다.

Ⅳ. 공중부유 미생물의 source

공중부유 미생물의 source는 제대로 관리유지 되지 못한 공기조절장치(HVAC systems)와 세척조와 배수구, 종사원의 몸, 고압호스를 사용한 바닥이나 기구의 세척, 기구표면의 biofilm, 창고에서 유반되어온 자재에 실려온 먼지, 응축수낙하, 청소하기 힘든 부위에 쌓인 먼지, 원유나 하수 등의 기포파괴시, 불결한 air compressor의 filter, 그리고 외부로 부터 들어온 공기 등을 생각할 수 있으나 이 밖에도 공장여건에 따라 다른 요인들을 찾을 수 있을 것이다(2). 이들중 배수

구는 그 속에 각종 미생물이 다량으로 서식하는 불결한 환경으로 관내에 서식하거나 관내로 유입되는 미생물이 경우에 따라 실내로 역류되어 공기중에 존재하기도 하며, 오물로 더러워진 바닥을 수도호스를 사용하여 세척할 때 오물과 미생물들이 물방울과 함께 떠올라 공기중의 미생물수가 급격히 증가하는 것이 관찰된 바 있다(3).

Ⅴ. 공중부유 미생물의 특성

공중부유 미생물은 공기중에 떠 있는 작은 물방울 속에 포함되어 있는 것도 있고, 작고 가벼운 고체입자에 붙어 있거나 속에 들어있는 것도 있으며, 미생물이 날개로 혹은 군집하여 공기중에 떠 있는 경우도 있다. 또한 대부분의 입자들은 + 혹은 -전기로 전하되어 있어 이들 입자간에 결합 혹은 반발을 일으키기도 하고 다른 물체의 표면에 쉬 붙거나 오히려 떨어지기도 한다. 그러므로 각각의 크기나 무게, 또는 물성이 달라 어떤 미생물을 포함한 입자는 aerosol 상태로 안정하게 부유해 있는 것도 있고 무게나 전기적 인력에 의하여 바닥이나 표면에 부착되어 더이상 공기중에 존재하지 못하게 되는 입자도 있다. Aerosol 상태로 부유하는 입자들 중에도 세포의 영양 생리상태가 다르고 환경에 의한 영향도 달라 數分을 견디지 못하고 사멸하는 것과 동일한 환경에서도 성장하는 것, 박테리아나 곰팡이의 spore와 같이 활성에 거의 영향을 받지 않는 것 등이 있다(2).

Ⅵ. 오염 방지책

위에서 본 바와 같은 공중부유 미생물의 source를 없애거나 줄이기 위하여는 식품가공공장의 위치 선정이 중요한데 주변에 분진이 많이 발생하는 공장이나 시설이 없어야 하며 자연환경이 깨끗해야 한다. 그리고 공장의 구조가 공기의 흐름을 고려하여 critical control point(CCP)와 non-critical control point로 구분하여 배치되고 건축재료 또한 상황에 맞는 위생상태를 유지할 수

있는 재료를 써야 한다. 무엇보다도 중요한 것은 전반적인 위생상태이다. 대부분의 공중부유 미생물은 불결한 환경에서 발생되어 나오기 때문에 전반적인 위생상태가 불량한 채로 어떤 기계장치나 약품처리를 하여 공기를 깨끗하게 하려는 것은 현명하지 못하다 하겠다. 그와 아울러 몇가지 간과되기 쉬운점을 살펴보면 다음과 같다.

공기조절장치와 air compressor의 설치시 흡기구 위치가 오염도가 높은 곳은 피하고 filter와 fan을 깨끗하게 유지관리하여 미생물의 서식이 없어야 한다. 특히 filter는 성능과 재질이 다양하여 그 선택에 유의하여야 한다.

종사원의 몸은 가장 중요한 공중부유 미생물의 공급원이다. 인간은 출생시부터 미생물과 공생하는 존재로서, 인체의 표면, 호흡기관과 배설기관 등은 다양한 미생물의 서식지가 되며 때로는 병원성 세균이 정상균총으로 존재하기도 한다. 이러한 미생물들이 체외로 계속 떨어져 나오는데 특히 몸이 청결하지 않을 때와 말할때, 숨 쉴때, 기침이나 재채기 할때 많이 떨어져 나오며, 깨끗치 못한 의복과 활발한 신체활동은 그 수를 증가시킨다. 종사원의 몸에서 떨어져 나오는 미생물의 수는 내약 분당 수십만 마리에 이르는 것으로 알려져 있다. 그러므로 작업시작 전의 샤워와 작업중 혹은 외부 출입시의 세수(洗手), 세탁된 위생복, 위생모, 위생장갑, 마스크의 착용이 필요하며, 조발상태와 손톱상태등이 양호해야 한다.

그리고 열처리가 끝난 제품이 공기에 접촉되는 시간을 최소로 줄이는 일과 접촉을 하더라도 정화된 공기던 땅도록 하며, 그것도 불가능 할 때는 덮개 등을 씌워 오염을 줄일 필요가 있다. 특별히 미생물의 오염이 없어야 할 곳은 작업장 전체 혹은 일부를 청정실 설치를 하여야 한다. 청정실은 고성능 공기 여과 filter(HEPA filter)를 설치하여 0.3μ 보다 큰 입자가 모두 제거된 공기가 일정한 흐름을 유지하도록 만들어진 방으로 특수 내장재료를 사용하여 만든다. 그러나 고도의 청정실을 설치, 유지하는데는 많은 경비가 들므로 제품의 상황에 적합한 정도의 청정실을 설치하여 경제적으로 운용할 수도 있다.

Ⅶ. 공중부유 미생물의 측정방법

공중부유 미생물은 그 종류와 크기, 또한 성상이 다양하며 대부분의 입자는 공기 중에 안정한 aerosol 상태로 존재하므로 공기를 빨아 들이는 특수한 기구를 사용하지 않고서는 정량적인 회수가 불가능 하며 이러한 기구의 사용에서 오는 환경적 스트레스와 효율성의 차이에 의해 진정한 상황의 측정은 불가능 하다. 그럼에도 불구하고 현재 국내외에서 사용되고 있는 몇가지 측정기구를 살펴보고 또한 그러한 기구가 없는 상황에서 서의 조치를 알아보고저 한다.

사용되는 기구들은 크게 4가지 방법을 적용하여 고안되었는데 이들은 impaction method, impinger method, centrifugal method, filtration method로 impinger method는 공기와 함께 빨려 들어온 입자들이 액체에 채집되어 이 액체를 적절한 방법으로 배지에 옮겨 배양하여 미생물의 수를 측정한다. All Glass Impinger-30 (AGI-30) (Fig. 1)가 대표적인 기구이다. Impa-

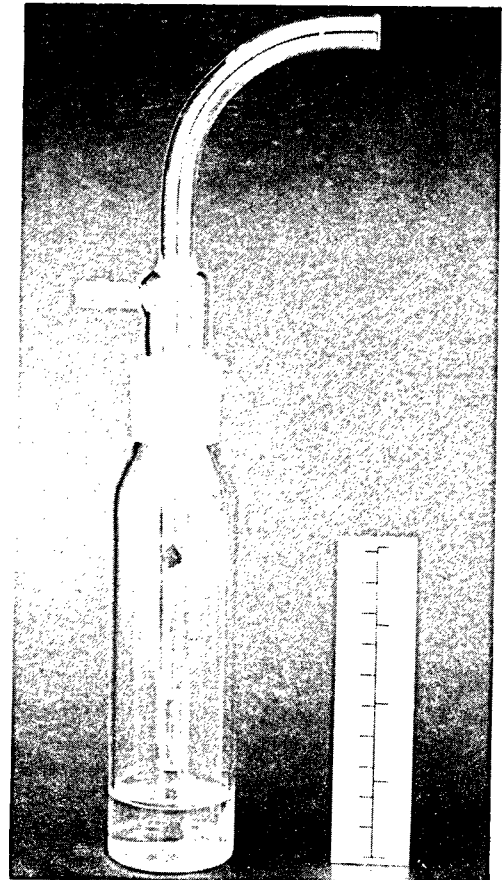


Fig. 1. The all glass impinger-30 (AGI-30)

ction method는 진공 펌프를 연결하여 공기가 빨려들어오는 힘에 의해 입자가 가는 틈새를 통과할 때 생긴 관성으로 밑에 놓인 고체배지의 표면에 충돌하여 채집되는 silt impactor와 많고 작은 구멍을 통과해서 채집되는 sive impactor가 있다. 이렇게 채집된 미생물은 배지를 그대로 배양하여 빨아들인 공기중에 있던 미생물의 수를 알게 된다. Casella Slit Sampler와 Andersen Multistage Sieve Sampler(Fig. 2) 등이 각각의 예이다. Centrifugal method는 날개의 고속 회전으로 인한 공기흐름을 이용하여 공기중의 입자에 원심력을 부가하여 이들을 고체배지나 액체에 채집하는 것으로 Reuter Centrifugal Air Sampler (RCS) (Fig. 3), Cyclone Air Sampler 등이 있다. Filtration method는 멸균 솜이나 미생물을 여과할 수 있는 여과지를 사용하여 일정한 양의 공기를 여과한 후 여과된 미생물을 배지에 옮겨 키워 분석하는 것으로 Millipore Membrane Filterfield Monitor, Gelatin Membrane Filter 등이 있다. 그러나 이러한 기구들은 대체로 그 값이 대단히 비싸거나 사용이 까다롭거나 미생물의 회수와 분석중에 사멸효과가 크거나 결과가 정량적이지 않은것 등의 문제가 있어 구입과 사용에 주의해야 한다(2, 4, 5, 6). 보다 효율적인

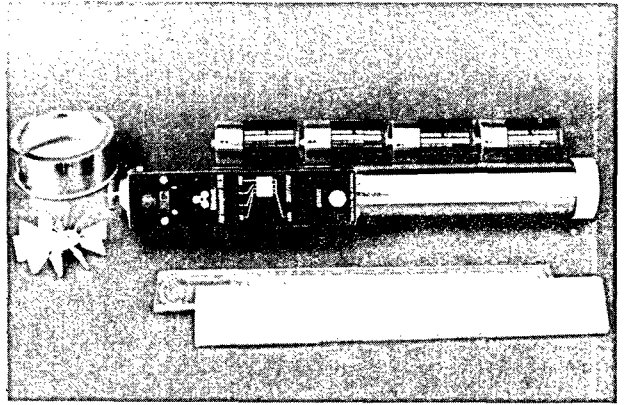


Fig. 3. The biotst RCS sampler

공기 sampler의 개발과 표준방법 설정, 장소나 작업내용에 따른 공기 질의 표준설정의 필요성이 인식되어 많은 연구가 현재 미국에서 진행중이다.

위와 같은 기구가 없이 공중부유 미생물을 추정해 볼수 있는 방법을 살펴보면 가장 간단한 exposure plate 방법을 첫번째로 생각할 수 있으나 이 방법에서 얻은 결과는 단지 평판배지 위에 자란 미생물이 공기중에 있었다는 사실 외에 그 수나 종류들의 정보를 주지 못한다. 다음으로는 깨끗이 소독된 후 공기에 노출된 식품취급 용기나 식품이 닿는 기구의 표면으로부터 미생물을 수거하여 이들에 의한 식품오염 가능성을 보는 것으로 이 역시 정량적은 아니지만 직접 식품을 오염시킬 수 있는 미생물과 상황이라는 점이 의미를 갖는다. 그러나 용기나 기구 표면의 소독상태와 미생물 회수효율, 회수시의 작업자에 의한 오염가능성 때문에 각별한 주의를 요한다. 이러한 문제들의 해결에 도움을 주기 위해 3M사의 petri film이나 RODAC(Replicate Organism Detection and Counting) plate 등을 사용할 수도 있다(7).

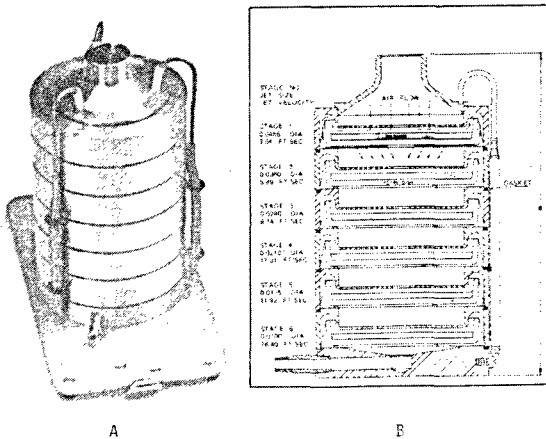


Fig. 2. A. Andersen multistage sieve sampler. B. Schematic cross-section of the Andersen sampler.(Courtesy of Andersen samplers Inc.).

VIII. 공중부유 미생물 실측치

지금까지 각종 문헌에 나타난 유가공장 내의 공중부유 미생물의 수를 종합 정리해 보면 Table 1~4와 같다(2). 이들은 각기 다른 장소, 환경,

Table 1. Levels of microorganisms found in air of dairy plants by exposure agar plate method using 90 mm plate (data adjusted to 15 min exposure).

Locations	Bacteria range (mean)	Yeasts range (mean)	Molds range (mean)	Ref. No.
	—cfu—			
Market milk areas	1.8-185.8 (46.5)	0-6.3 (1.1)	0.8-6.4 (13.8)	56
Butter areas	4.5-129 (41.6)	0-5.3 (1.1)	0.5-75.5 (15.1)	
Cheese areas	3-171.5 (36.2)	0-10.8 (1.1)	0.8-71.5 (12.1)	
3 dairies	1.5-825	N. D. ¹	N. D.	16
Dairy factories	>4500 ²	N. D.	N. D.	45

¹No data available.

²Maximum counts.

Table 2. Levels of microorganisms found in air of pasteurized milk processing areas using quantitative sampling methods

Sampler	Bacteria range (mean)	Yeast range (mean)	Molds range (mean)	Ref. No.
	—cfu per m ³ of air—			
Casella	66-334 (195)	12-181 (70)	51-293 (145)	33
Casella	141-3143 (1105)		0-4462 ¹ (1088)	34
Casella	* ²	0-141 (8)	0-127 (30)	70
Andersen	* ²	0-7 (6)	92-205 (138)	
Andersen	(3260±5823) ^{3, 4}		(1812±3814) ⁴	12
Andersen	(3200) ³		(1400)	13
GMF ⁵	(953)		(258)	61

¹Yeasts and molds count

²Low levels of *Staphylococcus* spp. and coliforms detected

³Non-molds count

⁴Expressed as mean±standard deviation

⁵Gelatin membrane filtration method

Table 3. Levels of microorganisms found in air of cheese processing areas using quantitative sampling methods

Locations	Sampler	Bacteria range (mean)	Yeasts range (mean)	Molds range (mean)	Y&M ¹ range (mean)	Ref. No.
— cfu per m ³ of air —						
Cottage cheese areas	Casella	109-242 (158)	13-212 (62)	133-2361 (786)		33
	Casella	N. D. ²	0-7 (1.4)	7-318 (57)		70
	Andersen	N. D.	0-113 (37)	7-127 (126)		
	Andersen	565-3037 ³	N. D.	N. D.		11
Cheese areas	slit sampler	24.7-2354 ⁴	N. D.	N. D.		57
	Casella	106-24791 (4086)			35-3496 (1056)	34
	overall	GMF ⁵ (986)			(396)	61
	production	(1683)			(649)	
	packaging	(2244)			(881)	
	store	(133)			(172)	
starter room	(701)			(35)		

¹Yeasts and molds count

²No data available

³Total viable particles count

⁴Lactobacilli on 2% plain agar, over which a layer of selective acetate medium

⁵Gelatin membrane filtration method

시각과 방법으로 실시되었으므로 비교에는 부적합하나 여러가지 유용한 정보를 제공해 준다. 한가지는 박테리아가 가장 많이 존재하고 그 다음은 곰팡이라는 것이다. 그리고 수의 변화가 크며 이 표들에는 나타나지 않았지만 특수한 상황 예를 들면 환풍기 작동 초기, 배수구 flooding 시, 종사원 작업시 등에서, 갑작스런 증가현상을 나타내는 것 등이다. 이 미생물들 중 박테리아는 *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Serratia*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Alkaligenes*, *Aeromonas* 등의 종들이 빈번하게 나타나며 *Salmonella*, *Listeria* 등이 회수되기도 한다(6, 8).

K. 제 언

이상에서 본 바와 같이 불결한 환경에서 불결한 공기가 만들어지고 이로 인해 제품의 저장성 단축과 집단 식중독 발생의 가능성을 살펴 보았다. 이러한 공중부유 미생물에 의한 제품의 오염을 방지하려면 무엇보다도 전반적인 환경위생을 개선하는 노력이 필요하다. 지금까지 이 상황에서도 아무일 없었는데 하는 안일한 생각은 일이 발생하고 난 후에 때 늦은 후회를 하게 한다. 종업원 위생교육과 위생관리, 주기적인 하수구 청소 소독실시, 환기 송풍시설의 청결 유지, 제품의 공기노출 극소화, CCP 지역의 고시와 출입 통제, 필요시 air curtain 이나 청정실 설비(clean room) 설치 등에 주력하고 HACCP system 등을 도입 사전 점검과 대책 수립이 필요하다 하겠다.

Table 4. Levels of microorganisms found in air of other dairy processing areas using quantitative sampling methods

Locations	Sampler	Bacteria range (mean)	Yeasts range (mean)	Molds range (mean)	Y&M ¹ range (mean)	Ref. No.
— cfu per m ³ of air —						
Butter area	Casella	102-371 (218)	10-182 (85)	119-1951 (486)		33
	Casella	388-4662 (1596)			141-918 (434)	34
	Casella	* ²	0-28 (7.8)	7-388 (88)		70
	Andersen	* ²	0-14 (8.5)	106-212 (131)		
	GMF ³	(5902)			(611)	61
Dry milk areas	Casella	283-2119 (1095)			106-2966 (1021)	34
	overall	GMF ³	(1766)		(802)	61
	production		(2911)		(542)	
	packaging		(1274)		(589)	
	other areas		(2296)		(802)	
Ice cream areas	Casella	353-883 (579)			141-565 (297)	34
	Casella	* ²	0-14 (2.1)	0-42.4 (25.4)		70
	Andersen	* ²	0-14 (4.2)	14-113 (65.0)		
Condensed milk areas	GMF ³	(221)			(94.6)	61
	production		(1117)		(925)	
	packaging		(13.0)		(0)	
	storage tank		(50.5)		(20.5)	
Dairy factories	slit sampler	18000 ^{4,5}				45
	RCS ⁶	10-15000 ⁵				63

¹Yeasts and molds count

²Low levels of *Staphylococcus* spp. and coliforms detected

³Gelatin membrane filtration count

⁴Maximum counts

⁵Total viable particles count

⁶Biotest RCS centrifugal air sampler

X. 참고 문헌

1. Food and Drug Administration and Milk Industry Foundation International Ice Cream Association. 1988. Recommended guidelines for controlling environmental contamination in dairy plants. *Dairy Food Sanit.*, 8: 52-56.
2. Young-jae Kang and J.F. Frank. 1989. Biological Aerosols: A Review of Airborne Contamination and its Measurement in Dairy Processing Plants. *J. Food Prot.*, 52(7): 512-524.
3. Young-jae Kang and J.F. Frank. 1990. Characteristics of Biological Aerosols in Dairy Processing Plants. *J. Dairy Sci.*, 73(3): 621-626.
4. Young-jae Kang and J.F. Frank. 1989. Evaluation of Air Samplers for Recovery of Artificially Generated Aerosols of Pure Cultures in a Controlled Environment. *J. Food Prot.*, 52(8): 560-563.
5. Young-jae Kang and J.F. Frank. 1989. Evaluation of Air Samplers for Recovery of Biological Aerosols in Dairy Processing Plants. *J. Food Prot.*, 52(9): 655-659.
6. Youngjae-Kang and J.F. Frank. 1989. Comparison of Airborne Microflora Collected by the Andersen Sieve Sampler and RCS Sampler in Dairy Processing Plant Environments. *J. Food Prot.*, 52(12): 877-880.
7. Standard Methods for the Examination of Dairy Products. 1985. G.H. Richardson Ed. 15th ed.
8. Rossmoore, K., P. Johnson and C. Kovach. 1988. The significance of aerial microbiota on the quality of dairy products. *Dairy Food Sanit.*, 8: 269 (Abstr.).