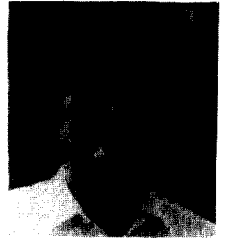


김치의 유산균 상태



인하대학교 이과대학 생물학과 한 홍 의

1. 서 론

김치는 소금에 절인 채소류에 향신료와 어패류를 첨가하여 유산발효시킨 식품으로 그 종류는 수백여 종이 소개되고 있다. 김치의 유산발효는 주로 채소류나 향신료의 표면에 서식했던 유산균에 의하여 이루어진다고 생각하고 있으나 유산균의 유래에 대한 연구보고는 아직도 없다. 원부재료의 표면에는 유산균만이 존재하지 않고 기타 많은 미생물이 포함된 균총(microflora)이 부착되어 있다고 생각하고 있다. 따라서 김치는 식물과 미생물간의 상호작용에 의하여 만들어지며, 또한 그 작용 또는 발효는 한정된 용기내에서 이루어지며 일단 용기에 넣은 식물체는 교환되지 않는다. 그리고 유산발효가 진행되면서 열에너지가 외부 대기와 교환되고 있는 관점에서 볼 때 폐쇄된 생태계(closed ecosystem)이며 그 생태계의 크기가 상대적으로 아주 소규모이므로 폐쇄된 소생태계(closed microecosystem)로 볼 수 있다. 그러므로 김치내의 미생물의 연구는 미생물 생태학적 측면에서 진행해 볼 필요가 있다.

우선, 김치란 소생태계내의 미생물군집은 어떻게 발달할 것인가? 다시 말해서 생태적 천이(succession)에 대한 관심을 갖게 된다. 용어의 정의에 의하면 1) 시간에 따라서 종(species)의 구조와 군집(community) 발달 과정이 순서대로 일어나는지 2) 군집발달에 의하여 물리적 환경의 변형이 일어나는지 그리고 3) 생물간의 최대 생체량과 공생적 기능이 유지되면서 안정된 생태계로 도달되는지가 확인되어야 할 것이다.⁽¹⁾ 이러한 군집 발달단계(stage)의 분석은 군집의 에너지, 군집 구조, 생활사, 영양분의 순환, 도태압 그리고 전반적인 항상성(homeostasis)에 대한 연구가 포함되어야 한다. 그러나 김치란

폐쇄된 생태계이므로 위에 언급한 정의에 모두 만족될 수 있는지는 의문시되고 있다.

최소한도 김치는 환경적 변화와 군집발달 및 종의 구조변화가 부분적으로 일어나고 있음이 보고된 바가 있다.⁽¹⁾ 종의 구조를 보면 *Lactobacillus plantarum*이 성장하는 도중에 *Leuconostoc mesenteroides*가 출현한 다음 *Streptococcus faecalis*와 *Pediococcus cerevisiae* 그리고 *Lactobacillus brevis* 순서로 변화되고 있는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾ 이러한 개체군(population)의 동적 변화는 나중에 설명하겠지만 환경적 변화에 따라서 상당한 차이가 생긴다. 그리고 군집 제어적인 즉, 군집에 의하여 변하는 물리, 화학적 환경변화로는 주로 유산 생성에 따른 pH의 저하, 유산균의 증식에 의한 발효, 온도, 산소 그리고 탄산가스의 농도, 영양분 조성의 변화가 뚜렷이 관찰되고 있다. 이상에서 김치는 미생물 생태학적 연구에 좋은 model system이 될 수 있는 가능성을 내포하고 있으며 자연 생태계의 과도기적 천이 경과를 연구하는데 좋은 재료가 될 것으로 믿는다. 그러나 현재까지의 김치연구는 김치 미생물과 환경변화와의 관계를 분리하여 진행하여 왔고 특히 김치미생물에 대한 연구는 거의 무시되어 왔다.

김치는 미생물 생태학의 기초연구의 보완 뿐만 아니라 현재 산업적으로 문제시되고 있는 과도한 유산생성으로부터 기인하는 산패와 미생물에 의한 연부 또는 부패를 제어할 과제를 갖고 있다. 산패와 연부를 방지하기 위한 노력으로 물리, 화학적 방법의 연구가 있다. 물리적인 방법으로는 저온 및 고온처리, 방사선 처리가 있고 화학적 방법으로는 당분의 제거, pH 조절제, 방부제 등이 소개되고 있으나 실용화되지 못하고 있다. 그 이유는 이러한 물리, 화학적 처리방법이 김치의 풍미에 상당한 손상을 주기

때문이며 풍미에 손상을 주지 않는 범위내에서 처리를 한다면 궁극적으로 산패와 연부가 일어나기 때문이다. 이는 생태학적 천이의 정의에 의하면 물리, 화학적 환경변화가 미생물 군집의 발달양상, 변화율을 결정하고, 그 발달의 한계를 어느정도 결정한다 할지라도 결국은 군집제어(community-controlled)에 의하여 일어나게 되고 김치연구에 도입되고 있는 물리, 화학적 처리는 도태압(selection pressure)으로 작용하여 r-전략과 K-전략이 일어나고 있음을 증명해 주고 있다. 즉, 김치미생물의 생식과 증식에 영향을 주어 종의 다양성이 대치되고 있음을 의미하고 있다.

그러므로 김치란 상품의 가치를 유지하기 위하여서는 지금까지 시도된 물리, 화학적 방법만으로는 성공적이 될 수 없다. 그 중요한 이유 중의 하나는 고유한 우리 김치의 풍미를 만들어내는 주된 유산균은 어떤 종이며 그 특성이 무엇인가가 밝혀지지 않았기 때문이다. 시행착오적인 물리, 화학적 처리 방법의 도입으로 인하여 고유의 유산균이 증식하지 못한다면 김치의 고유성을 상실할 수 있기 때문이다. 결국 김치의 산패와 연부는 시간이 경과됨에 따라서 군집제어적으로 일어나며 그 고유성과 풍미를 유지하기 위하여 새로운 도태압의 개념이 도입되어야 할 것이다. 김치의 미생물생태에 대한 연구가 거의 없으므로 본 절에서는 필자의 연구실에서 진행되고 있는 배추김치의 미생물에 대한 연구내용을 요약하여 소개하고자 한다.

2. 김치의 미생물 군집 측정

김치내의 미생물군집을 분석하려면 총 군집과 이를 구성하고 있는 속과 종을 파악하여야 할 것이다. 군집크기의 측정은 일반적으로 평판 배양법에 의한 총세균수와 생균수, 건조중량, 세포 구성물질의 정량, 그리고 탁도에 의하여 행하여지고 있음은 주지의 사실이다. 그러나 건조중량, 세포 물질의 정량 그리고 탁도의 측정은 김치의 물성 때문에 불가능하고 총 세균수와 생균수 측정은 발효경과에 따라 적시에 균수를 파악하려는 관점에서는 상당한 시간이 소요되며 번거로운 일이므로 부적합하다. 최근에 출판된 Bergey's manual of systematic bacteriology에 의하면 원핵생물계를 세포막의 구조에 의하여 4가지

군(division)으로 분류하는데 그 중요 성질을 구별함에 있어 그람 염색법이 사용되고 있다. 이 그람 염색법으로 그람 양성균인 Firmacutes 및 그람 음성균인 Gracilicutes 외에 그람 염색에 무관한 Mendosicutes와 세포벽이 없이 숙주에 기생하는 Terenicutes로 구별된다. 후자의 두 군은 김치 발효중에 참여하지 않고 전자 두 군만이 존재한다. 따라서 김치내의 군집변화는 그람 염색법으로 측정할 수 있으며 한번의 관찰로 그람 양성균과 음성균으로 구별될 수 있다. 그리고 그람 양성 및 음성균은 수천 종에 이르므로 첫째 이들은 각 그람 양성균 및 음성균 군집으로 명명할 수 있다. 군집분석은 일반적인 평판 배양법보다 분류학적으로 세분하여 관찰할 수 있고 총 군집으로도 평가할 수 있는 이점이 있다. 총 군집(total community)를 구성하는 각 군집내에는 다양한 속들이 존재하므로 이들을 속군집으로 세분화할 수 있고 이들 속군집을 쉽고 신속하게 동정할 필요가 있다. 마지막으로 종의 다양성과 구조를 알기위하여 종의 분리 및 동정을 시도해야 할 것이다.

2-1. 총군집

장 등(1987)은 그람 염색법에 의하여 직접 현미경 계수법으로 김치내의 그람 음성 및 양성균 군집을 약 20분내에 분별측정할 수 있음을 보고하였다.⁶⁾ 오차 범위는 $5.1 \pm 2.3\%$ 이었으므로 염색도중 세척에 의하여 제거되는 세균수는 상당히 적었음을 알 수 있다. 계수 범위는 시료 ml당 $5.5 \times 10^6 - 1.0 \times 10^9$ 세포를 측정할 수 있었다. 이 방법은 slide glass상에 2 cm 지름의 원을 유성펜으로 그린 후 그 원내에 $5 \mu^2$ 의 시료를 도말 건조한 후 그람 염색을 하여 관찰 계수하였다.

2-2. 속군집

김치의 미생물 군집발달을 보면 가식 범위인 발효단계 즉, 발달단계(developmental stage)는 그람 양성균만으로 구성되어 있으며 이는 유산균 만으로 특징지을 수 있다. 유산균에 속하는 유산균 속들은 현재까지 *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*만이 존재하고 있음이 보고되어 있다. 민 등(1984)은 sauerkraut 내의 유산균을 1) 평판 배양법에 의한 집락분리 2) 구균과 간균의 현미경적 판별 3) 정상 및 이상 유산발효의 유산 생성량 등의 순으로 시험하여 동정하는 진단적 동정법을 사용하

Table 1. Characters used in dichotomous identification.

| | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Gram stain | 21. Growth at |
| 2. Shape | pH 4.2 |
| 3. Anaerobic fermentation of Glucose | 18% NaCl |
| 4. Cellular arrangement | 10, 15, 35, 40, 45°C |
| 5. Spore formation | 22. Acid fermentation or utilization of |
| 6. Oxygen requirement | Arabinose |
| 7. CO ₂ requirement | Fructose |
| 8. Mol % G+C | Galactose |
| 9. Catalase | Gluconate |
| 10. Capsule formation | Inulin |
| 11. Greening reaction on blood agar | Lactose |
| 12. Peptone fermentation | Maltose |
| 13. Butyrate formation | Manitol |
| 14. Tetrazolium reduction | Mannose |
| 15. Hydrolysis of | Melizitose |
| Esculin | Melibiose |
| Arginine | Raffinose |
| Hippurate | Ribose |
| Starch | Rhamnose |
| 16. Arginine dihydrolase | Salicin |
| 17. β-hydrolysis | Sorbitol |
| 18. Dextran formation | Sucrose |
| 19. Motility(20-25°C) | starch |
| 20. H ₂ S formation | Trehalose |
| | Xylose |

였다.⁽²⁾ 한 등(1991)은 유산 생성량의 정도를 pH 지시약인 Bromphenol blue(BPB)를 0.002% 되게 첨가한 MRS 배지에서 4속의 표준 유산균주를 접종하여 25°C에서 2-3일 후에 관찰함으로써 BPB에 의하여 특징적으로 색을 띠는 집락이 형성되어 4속을 구별할 수 있는 방법을 제시하였고 김치 유산균에서도 일치되는 결과를 얻었다고 보고하였다.⁽⁶⁾ 그 속들의 집락특징은

1) *Pediococcus*는 집락이 원형이며 용기상태는 볼록형이고 주변은 미끈형이며 그 크기는 *Streptococcus*보다는 크지만 *Lactobacillus*보다는 작게 나타난다. 집락의 색상은 내부가 전체적으로 암청색을 띠고 주변에 흰색환을 형성한다.

2) *Streptococcus*의 집락의 모양은 *Pediococcus*의

집락과 유사하나 크기는 가장 작으며 흰색을 띤다.

3) *Leuconostoc*의 집락 모양은 *Pediococcus*, *Streptococcus*와 유사하고, 그 크기는 *Pediococcus*와 거의 같은 색상은 암청색을 띠고 흰색환이 없다.

4) *Lactobacillus*는 집락이 원형이고 용기상태는 중앙 돌기형, 볼록형이고 주변은 미끈형과 파동형이다. 다른 유산균속과 잘 구별되는 특징은 집락이 크며 색상은 전체적으로 담청색을 띠고 간혹 집락에 따라 중앙 부분에 암청색을 나타낸다.

BPB에 의한 속 분별법은 많은 의구심이 있을 수 있으나 본 측정에 사용한 BPB의 농도, 배양시간, 배지를 표준화하면 잘 구별되었다. 이에 대한 확인 실험으로 김치의 유산균 집락을 Bergey's manual에 의한 분리, 동정한 결과와도 일치하였다.

2-3 이분 동정법(Dichotomous identification)

김치내 유산균 종들은 세포 형태가 구균과 간균이고 그람 양성균으로 포자를 형성하지 않으므로 Bergey's manual(1986) 제 2권 12, 14장(section)에 서술된 성질을 참고하여 이분동정표를 작성하여 사용하였다.^(5,12) 각 속과 종은 90% 이상의 양성 및 음성반응을 나타낸 50가지 시험을 선택하여 *Streptococcus* 29종, *Leuconostoc* 5종, *Pediococcus* 8종, *Lactobacillus* 44종을 분별 측정할 수 있었다. 동정표에 사용된 성질은 표 1과 같다.

3. 미생물 군집

3.1 총 군집의 발달

김치의 미생물 군집의 발달은 그람 염색법에 의한 직접현미경 계수법에 의하여 측정하면 경시적으로 그람 양성 및 음성균과 효모 군집으로 구별되어 나타난다(Fig. 1). 군집 발달은 환경요인으로서 온도에 따라 상당히 다르다. 먼저 용기에 담아 15°-25°C 상온에서 발효시킨 김치에 있어서 상하층의 군집발달은 전혀 다르게 나타나는 특징이 있다. 각 군집 발달의 전형적인 양상을 살펴보면 1) 그람 양성균 군집은 유산균으로서 상하층에서 일단 증식이 일어난 후에는 소멸되어 재증식이 일어나지 않으므로 김치의 주된 발효는 일단 끝나고, 2) 김치의 풍미를 손상시키는 그람 음성균 군집은 하층에서 경시적으로 증감이 일어나는 파동적 증식이 일어나면서 후

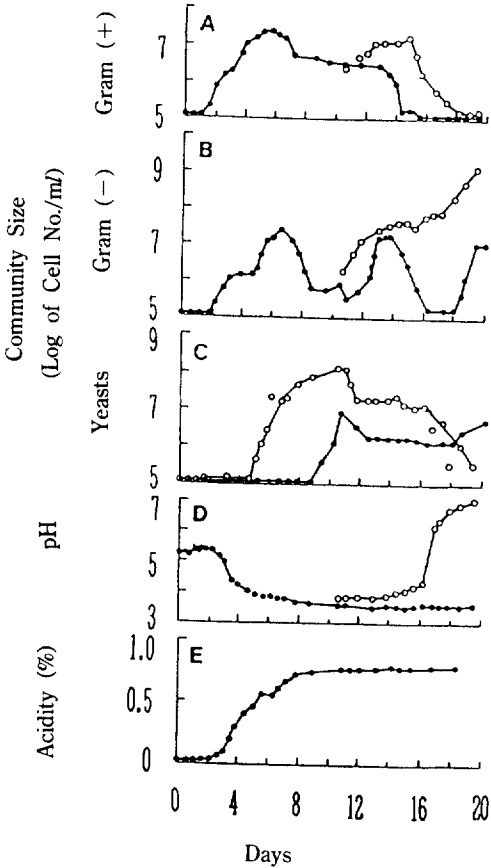


Fig. 1. The dynamics of microbial communities (A, B, C), pH (D) and total acidity (E) in the upper (-O-) and lower (-●-) layer of the closed microecosystem of Kimchi fermentation. Fermentation was carried out for 20 days at 15°C.

기에 상층에는 새로운 그람 음성균과 효모 균집의 발달이 계속 일어난다. 후자의 균집이 상층에서 발달될 때 pH는 3에서 8 정도까지 증가되면서 상층의 김치는 연부되기 시작한다. 그러나 하층의 김치 상태는 변하지 않으며 pH와 총산도도 변하지 않는다. 여기에 균집 발달 양상을 김치의 장기 보존과 비교하여 볼 때 공기와 접촉되지 않는 하층의 김치는 그람 양성균 균집만이 발달한 후 소멸하고 균집 제어적으로 일어나는 pH와 총 산도는 변하지 않고 유지됨으로 만약 하층 김치의 상태를 계속 유지할 수 있다면 김치의 장기저장을 해결할 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 그러나 총 산도가 약 1.0%로 가식범위인 0.5%를 능가함으로 산패가 조절되지

못하는 결점이 있다.

15°C 이상에서 발효시킨 김치는 위에서 언급한 미생물 군집의 발달은 많은 실험을 통하여 나타나는 전형적이고 규칙적인 양상이다. 이것은 천이의 정의에 부합되는 결과이다. 그러므로 그람 양성 및 음성균 그리고 효모군집의 크기(수)로 김치 숙성의 진행 방향과 숙성도를 예측할 수 있는 미생물학적 지표(microbiological indicator)로 이용될 수 있다.⁶⁾

그러나 5°-10°C 저온에서 발효시키면, 김치의 미생물의 군집발달은 김치용기의 하층발효에서 나타나는 미생물 군집의 양상과 그람 양성균집만이 증식하고 pH는 약 4 정도가 되었다. 그리고 특징적인 것은 15°-25°C 사이에서 발효시킨 김치의 총 산도가 약 1.0%인데 비하여 가식범위인 0.5% 정도로 감소된다. 이러한 저온 발효는 15-20일 정도 소요되며 상온발효의 3-7일보다 발효기간이 길어지는 단점이 있다.

3.2. 속 균집의 발달

김치의 미생물군집은 그람 양성균과 음성균 그리고 효모 균집으로 구별하여 측정할 수 있다. 그러나 3 종류의 균집 중에서도 먹기 좋은 상태의 김치에서는 그람 양성균 균집만이 검출되고 있음이 확인되었다. 현미경 직접계수법으로 김치발효를 관찰하면 그람 음성균 균집이 나타나 평판 배양법으로는 분리되지 않았다. 그 이유는 그람 음성균이 편성 혐기성균이거나 그람 양성균이 죽거나 노화되어 그람 음성균으로 염색되는 현상으로 추측할 수 있으며 이를 확인하는 연구는 앞으로 계속되어야 할 것이다. 김치의 발달단계에서 그람 양성균 균집을 구성하고 있는 속 균집은 앞에서 언급한 바와 같이 *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Pediococcus*로 4개 속만이 알려져 있다. *Leuconostoc*은 pH 4.8 이하에서 증식하지 못하기 때문에 5°-25°C 사이의 발효 중 균집발달 단계의 초기에 나타나고 균집 크기가 빨리 감소하므로 비교적 수명이 짧다. 그리고 *Leuconostoc*은 생리적으로 이상발효(heterofermentation)를 함으로 유산과 탄산가스를 생성하여 김치는 pH가 낮아지고 용존산소는 감소되는 반면에 탄산가스가 증가되는 혐기성 환경으로 변화된다. 그 후 정상발효(homofermentation)를 행하는 *Pediococcus*와 *Streptococcus*는 김치발달 단계의 중간에 간헐적으로 나타나 김치에 손상을 주지 않는 물리, 화학적 처리에

의하여 증식이 억제되는 경우가 많다. 정상 혹은 이상발효를 하는 *Lactobacillus*는 pH가 3.0이 되어도 증식을 하며 전 단계에 걸쳐 군집크기가 어느 정도 유지된다.

3.3. 개체군의 동적 변화와 다양성

김치의 미생물 군집의 발달은 김치 담금 직후부터 그람 음성균과 양성균이 혼합하여 증식되다 없어지는 초기단계(initial stage), 유산균으로 구성되어 있는 그람 양성균 군집만이 증식하는 발달단계(developmental stage) 그리고 효모의 증식이 시작되는 후기단계(terminal stage)로 편의상 구분될 수 있다 (Table 2). 군집의 발달은 온도에 따라 차이가 있으며 종의 다양성도 변화된다. 초기단계는 그람 음성균인 *Aeromonas*, *Erwinia*, *Plesiomonas*, *Xenohabdus* 그리고 그람 양성균인 *Bacillus*속들이 검출되고, 후기 단계는 *Hansenula*, *Brettanomyces*, *Torulopsis*, *Rhodotolura*, *Pichia*속의 효모들이 검출되었다. 김치의 주된 발효에 해당되는 발달단계는 *Leuconostoc* 5종, *Streptococcus* 4종, *Pediococcus* 3종, *Lactobacillus* 18종 등 유산균 30종이 검출되었다.

발달단계에서 종의 분포와 빈도를 살펴보면 *Leuconostoc mesenteroides* 아종 3개와 *Leuconostoc paramesenteroides*는 온도에 따라 종 다양성은 크게 변하지 않으나 온도가 낮을수록 출현빈도가 증가하여 5°C 발효에서 그 빈도가 57.9%로 저온에서는 *Leuconostoc*속 군집에 의하여 김치가 만들어짐을 알 수 있다. *Streptococcus*속 군집은 5°-15°C까지는 출현하지 않고 25°C에서 출현하며 *Streptococcus raffinolactis*가 대표적인 종이며 *Pediococcus*속 군집도 5°C에서 나타나지 않으며 25°C에서 *Pediococcus pentosaceus*가 대표적인 종이라 할 수 있다. *Lactobacillus*속 군집은 온도가 낮을수록 종 다양성이 감소되어 수중밖에 출현하지 않으며 온도가 높을수록 종 다양성이 증가된다. 15°-25°C 사이에서 출현빈도는 약 56.3%로 상온에서는 주로 *Lactobacillus*속 군집에 의하여 김치가 발효됨을 알 수 있으며 특히 *Lactobacillus plantarum*이 그 출현빈도가 높다. 그러나 저온에서는 전혀 증식하지 못한다.

군집의 발달단계에 있는 유산균 개체군의 동적 변화는 5°C에서 *Leuconostoc mesenteroides subsp. mesenteroides*, *Leuconostoc paramesenteroides*와 *Lactobacillus sake*가 초기에 성장하고 *L. minor*, *Streptococcus lactis*, *Lactobacillus maltaromicus*순이었고, 15°C에서는 *Leuconostoc mesenteroides subsp. mesenteroides* 이후 *Pediococcus inopinatus*와 *L. fructosus*, *L. sake*, *L. yamanashiensis*, *L. maltaromicus*, *L. plantarum*순이었다. 25°C에서는 *L. mesenteroides subsp. mesenteroides* 이후에 *Streptococcus raffinolactis*, *L. homohiochii*, *L. maltaromicus*, *L. plantarum*과 *Pediococcus pentosaceus*순으로 나타났다.⁽³⁾ 이러한 개체군의 동적변화는 김치의 주 재료인 배추로부터 탄소 및 에너지원이 되는 환원당이 경시적으로 삼출됨으로써 개체군의 단계적인 증식이 일어남이 증명되었다.⁽⁴⁾

3.4. 미생물간의 상호작용

김치의 미생물 군집이 천이과정을 거칠 때 후기 단계(terminal stage)에서 새로운 그람 음성균과 효모군집이 발달하면서 pH가 약 3에서 8.0까지 변하면서 연부 혹은 부패가 일어나는 현상이 있음을 지적하였다. 혐기성 상태에서 호기성 상태로 전환될 때 김치의 pH 환경이 변화됨으로써 단계적으로 개체군이 성장할 수 있도록 새로운 서식처를 만들어 주고 두 종의 개체군간에 서로 해를 주지 않는 편리공생(commensalism)에 의하여 부패가 일어남이 알려졌다. 즉, 상온에서 그람 양성균 군집 중에 *Lactobacillus plantarum*이 환원당을 이용하여 유산을 생성함으로써 pH가 3.0 부근으로 저하되고 이 때 효모군집 중에서 pH 2.66 부근에서 내성을 갖는 효모인 *Brettanomyces custersii*가 유산을 이용하므로써 pH가 6.8 정도까지 상승되고, 그 후 그람 음성균 군집 중에서 김치의 펙틴질을 이용하여 *Klebsiella oxytoca*가 성장하면서 pH를 8.3까지 증가시킴을 보고하였다(Fig. 2). *B. custersianus*와 *Hansenula beijerinckii* 효모도 검출되나 최적 pH가 약 5.5이기 때문에 pH 3에서는 증식하지 못하다가 약 산성으로 되는 후기에 성장하였다.⁽¹⁰⁾ 따라서 김치의 부패는 호기성 조건하에서 내산성이고 유산을 이용하는 효모와 펙틴질을 이용하여 이취를 내는 세균에 의하여 일어남을 알 수 있다.

4. 김치의 환경

김치는 방부제를 비롯한 첨가제를 사용하지 않고 자연발효를 시켜야하므로, 김치의 외적 환경요인은

Table 2. Species structure and frequency during the development of microbial succession in Kimchi fermentation at each temperature.

| Genus | Species | subspecies | 25°C | 15°C | 5°C |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|------|------|------|
| Initial stage | | | | | |
| <i>Aeromonas</i> | <i>salmonicida</i> | <i>achromogenes</i> | 1.5% | 6.5% | 3.9% |
| | | <i>salmonicida</i> | 0 | 4.9 | 0 |
| <i>Erwinia</i> | <i>mallotivora</i> | | 0.7 | 0.8 | 0 |
| | <i>nigrifluens</i> | | 1.5 | 0 | 0 |
| <i>Plesiomonas</i> | <i>shigelloides</i> | | .5 | 0.8 | 1.9 |
| <i>Xenohabdus</i> | <i>luminescens</i> | | 0 | 0.8 | 0 |
| <i>Bacillus</i> | <i>cereus</i> | | 4.4 | 0 | 0 |
| | <i>circulans</i> | | 3.7 | 0 | 0 |
| Developmental stage | | | | | |
| <i>Leuconostoc</i> | <i>mesenteroides</i> | <i>mesenteroides</i> | 5.9 | 9.8 | 27.2 |
| | | <i>cremoris</i> | 5.1 | 3.3 | 0 |
| | | <i>dextranicum</i> | 1.5 | 0 | 8.7 |
| | | <i>paramesenteroides</i> | 0.7 | 1.6 | 20.4 |
| <i>Streptococcus</i> | <i>lactis</i> | | 0 | 1.6 | 0 |
| | <i>lactis</i> | | 1.5 | 0 | 3.9 |
| | <i>iniae</i> | | 0.7 | 0 | 0 |
| | <i>agalactiae</i> | | 0.7 | 0 | 0 |
| <i>Pediococcus</i> | <i>raffinolactis</i> | | 10.3 | 0 | 0 |
| | <i>pentosaceus</i> | | 3.7 | 0 | 0 |
| | <i>inopinatus</i> | | 0 | 4.1 | 0 |
| <i>Lactobacillus</i> | <i>acidilactici</i> | | 0 | 0.8 | 0 |
| | <i>plantarum</i> | | 34.6 | 12.3 | 0 |
| | <i>maltaromicus</i> | | 5.1 | 5.7 | 9.7 |
| | <i>homochiochii</i> | | 4.4 | 4.9 | 0 |
| | <i>brevis</i> | | 2.9 | 0 | 0 |
| | <i>curvatus</i> | | 1.5 | 0 | 0 |
| | <i>minor</i> | | 0.7 | 2.5 | 8.7 |
| | <i>sake</i> | | 0.7 | 7.4 | 3.9 |
| | <i>confusus</i> | | 0.7 | 0 | 0 |
| | <i>hilgardii</i> | | 0.7 | 0 | 0 |
| | <i>fructosus</i> | | 0.7 | 13.1 | 0 |
| | <i>farciminis</i> | | 2.9 | 1.6 | 0 |
| | <i>coryniformis</i> | <i>coryniformis</i> | 0.7 | 0 | 0 |
| | <i>casei</i> | <i>rhamnosus</i> | 0.7 | 0.8 | 0 |
| | <i>divergens</i> | | 0 | 0 | 1 |
| | <i>yamanashiensis</i> | | 0 | 3.3 | 0 |
| <i>alimentarius</i> | | 0 | 2.5 | 0 | |
| <i>bavaricus</i> | | 0 | 1.6 | 0 | |
| <i>amylophilus</i> | | 0 | 1.6 | 0 | |
| Terminal stage | | | | | |
| <i>Hansenula</i> | <i>silvicola</i> | | 0% | 1.6% | 4.0% |
| | <i>capsulata</i> | | 0 | 0 | 1.9 |
| <i>Brettanomyces</i> | <i>curstersianus</i> | | 0 | 1.6 | 1.9 |
| | <i>custersii</i> | | 0 | 2.5 | 1.9 |
| <i>Torulopsis</i> | <i>etcheilsii</i> | | 0 | 0.8 | 0 |
| <i>Rhodotorula</i> | <i>glutinis</i> | | 0 | 0 | 1 |
| <i>Pichia</i> | <i>membranaefaciens</i> | | 0 | 0.8 | 0 |

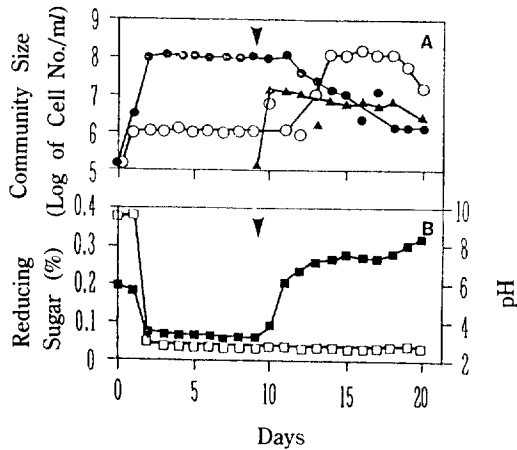


Fig. 2. The succession of microbial community (A) and changes of environmental factors (B) in the digestion of marcerated cabbages by aeration shift. Arrows indicate the start of aeration. Digestion was done at 25°C. A: Gram-positive bacterial community (—○—), Gram-negative bacterial community (—●—) and Yeast community (—▲—). B: pH (—■—) and reducing sugar (—□—).

제한을 받는다. 즉, 물리적 요인으로는 온도이고, 화학적 요인으로는 소금, 배추와 양념의 종류와 농도로 제한된다.

앞에서 설명한 바와 같이 김치의 미생물 생태계는 온도에 따라서 군집의 크기, 종 다양성, 개체군의 변화가 상당히 차이가 남을 알 수 있었다. 김치는 자연발효 식품임으로 온도가 중요한 환경요인으로 작용하고 있음을 의미하고 있다. 발효상태가 좋은 김치라면 유산균인 그람 양성균 군집이 잘 발달되고, 풍미를 손상시키는 그람 음성균 군집이 억제되는 온도를 설정할 수 있을 것이다. 이들 군집에 적합한 온도는 대략 15°C 부근이다(Fig. 3). 그러나 김치에 존재하는 각 유산균 개체군의 최적 온도는 20°-30°C로 알려져 있으므로 군집과 개체군의 적응온도는 차이가 생김을 알 수 있다. 김치미생물의 온도에 대한 특성에 있어서 군집은 저온성(psychrotrophs)이고 개체군은 중온성(mesophilic)이라 할 수 있다. 이러한 온도의 차이점은 앞으로 연구되어야 할 것이다. 김치의 산패를 조절해야 하는 관점에서 볼 때 각 군집의 크기가 적게 나타나는 5°-10°C에서의 발효를 선택할 수 있으나 미생물 군집의 생태학적 원리와는 무관하다.

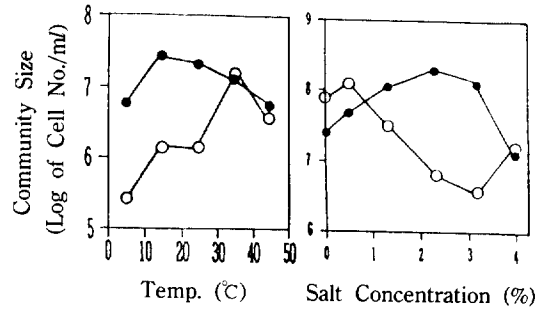


Fig. 3. Maximal community size of Gram-positive (—○—) and negative (—●—) bacteria in Kimchi habitat controlled by temperature and prepared with different salt concentrations.

김치의 소금농도도 맛에 영향을 줌으로 첨가량의 조절에도 한계가 있다.

김치에 소금을 첨가하지 않으면 그람 음성균 군집이 처음부터 발달되어 김치를 부패시키므로 소금이 김치를 제조하는데 가장 중요한 환경 요인인 것으로 믿는다. 즉, 김치는 소금이 첨가된 적당한 환경에서만 만들어지는 특수한 미생물의 생태계라 할 수 있다. 전술한 바와 같이 좋은 상태의 김치는 그람 양성균 군집이 크고 그람 음성균 군집이 작은 경우인데 이때의 소금 농도는 2.3% 부근이다(Fig. 3). 이 농도는 김치의 관능검사에서 얻은 소금 농도와 대략 일치하고 있다. 김치의 소금농도가 3%까지도 가능하나 관능검사에서 짠맛을 느끼며 기호도가 낮은 편이다.

배추의 품종이 달라도 군집의 발달은 전형적인 양상을 나타내나 속군집과 종다양성은 변한다.⁽⁷⁾ 그리고 양념으로서 사용되는 고추가루, 마늘, 파, 생강, 양파는 첨가한 농도에 따라서 속군집의 발달을 억제하거나 혹은 촉진하고 있다. 고추가루, 마늘, 파, 생강의 유산균 생장을 억제하는 농도는 배추무게의 약 1.0-1.5%이고 양파는 약 3.0% 정도이다.

5. 결 론

김치는 자연적인 발효에 의하여 만들어지는 우리나라 고유의 유산발효 식품이다. 자연발효이기 때문에 물리, 화학적 환경요인의 도입은 제한을 받고 있으며 그 요인 중에서 소금은 가장 중요한 한계요인(limiting factor)으로서 이를 첨가하지 않으면 김치

가 만들어지지 않는다. 김치미생물의 총 균집과 속 균집은 전형적이고 규칙적인 양상을 보여주며 종다양성은 온도가 낮을수록 적고 온도가 높을수록 많다. 김치에서 4속 30종의 유산균이 분리 동정되었다. 김치의 pH, 산도, 환원당의 감소 등의 변화는 균집 제어적으로 일어나며 미생물간의 편리공생도 일어난다. 그러나 항상성(homeostasis)은 유지되지 않는다. 따라서 김치의 생태계는 개방생태계의 미분적인 과도기 상태로 판단할 수 있다.

김치의 풍미는 온도의 특성에 의하여 좌우되며 5°-10°C 저온에서는 *Leuconostoc mesenteroides*와 *Leuconostoc paramesenteroides*에 의하여 그리고 15°-25°C 상온에서는 *Lactobacillus plantarum*에 의하여 김치가 만들어진다. 그리고 산패를 조절하기 위하여 저온 발효를 시키고 고추가루, 마늘, 파, 생강은 1.0-1.5%, 양파는 3.0% 정도로 첨가함이 적당하다. 김치의 장기보존 면에서는 김치의 표층과 용기의 공간을 혐기성 상태로 유지할 필요가 있다. 현재 사용되고 있는 산패조절과 장기보존성을 위한 물리, 화학적 처리방법은 도태압(selection pressure)으로 작용함으로 r 선택과 K 선택을 보다 깊이 연구해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김호식, 전재근. 1977. 김치발효 중 세균의 동적변화에 관한 연구. 원자력연구소 논문집. 6: 112.
2. 민태익, 권태완. 1984. 김치발효에 미치는 온도 및 식염농도의 영향. 한국식품과학회지. 16(4): 443.
3. 박현근, 임종락, 한홍의. 1990. 각 온도에서 김치발효 중 미생물의 천이과정. 인하대학교 기초과학연구소 논문집. 11: 161.
4. 임종락. 1991. 김치에서 내적물질흐름에 의한 미생물의 천이. 인하대학교 박사학위논문.
5. 임종락, 박현근, 한홍의. 1989. 김치에 서식하는 Gram 양성균의 분리 및 동정의 재평가. 한국미생물학회지. 27(4): 440.
6. 장진경, 임종락, 정계효, 한홍의. 1987. 수정된 Gram 염색법에 의한 혼합세균 개체군의 분별 측정. 한국미생물학회지. 25(3): 244.
7. 한홍의, 김재명, 권민수. 1991. 채소 수출산업 육성연구. 농촌진흥청 연구보고서. pp.2-3-1.
8. 한홍의, 박현근. 1991. Bromophenol blue 배지 상에서 유산균들의 분별측정. 인하대학교 기초과학연구소 논문집. 12: 89
9. 한홍의, 임종락, 박현근. 1990. 김치발효의 지표로서 미생물군집의 측정. 한국식품과학회지. 22 (1): 26.
10. 한홍의, 임종락, 박현근, 문상식, 박영선, 주홍택. 1990. 김치 부패시 *Brettanomyces custersii*와 *Klebsiella oxytoca*의 편리공생. 인하대학교 기초과학연구소 논문집. 11: 171.
11. Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology. 3rd ed. Saunders college publishing. pp.251.
12. Sneath, P.A., et al. 1986. Bergey's manual of Systematic bacteriology. Vol. 2. Williams & Wilkins. pp.999-1208.