

Bakteriyel Etanol Üretimi

Dr. Filiz ÖZÇELİK

A.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarım Ürünleri Teknolojisi Bölümü — ANKARA

1. Giriş

Günümüzde etanol benzinin oktan sayısını artırması ve eksoz gazlarındaki CO içeriğini azaltması gibi olumlu özellikleri nedeniyle benzine katkı olarak kullanılmaktadır. Artan petrol fiyatları da dikkate alınarak, çok yönlü bir enerji kaynağı olan etanole gittikçe artan bir gereksinim duyulması tüm dünya üzerinde bu konudaki araştırmaları teşvik etmektedir. Araştırmalar yalnızca ucuz bir substrat ortaya koyma yönünden değil, aynı zamanda *S. cerevisiae*'den daha uygun bir mikroorganizma bulabilme yönünde de yapılmaktadır.

Son yıllarda etanol üretiminde, klasik etanol fermentasyonunda kullanılan mayanın yanısıra bir grup bakteri biyoteknolojik yönden ilgi çekmektedir. Mayanın kullanıldığı klasik etanol üretiminde selüloz, hemiselüloz, lignin v.b. hammaddelerin substrat olarak kullanılması asit hidrolizi veya enzimlerle yapılan ön işlemlerle mümkündür. Selüloz ve pentoz parçalayan enzimleri üreten mikroorganizmalar daha ekonomik yöntemler geliştirmek amacıyla kullanılabilirler. Bu amaçla çok daha değişik ve çeşitli substratlar kullanabilecek mikroorganizmaların eldesi için çaba sarfedilmektedir.

Mayanın yerini alabilecek yeni bir mikroorganizmanın ortaya konması için bir grup bakteri ve küf etanol üretim amacıyla denenmiştir. Bu mikroorganizmalardan özellikle küfler, düşük etanol verimi ve substrat dönüşüm hızları nedeniyle amaca uygun bulunmadılar. Buna karşın bazı bakteriler etanol üretiminde yeni yöntemler için ümit vermektedirler.

2. Bakteriyel Fermentasyonun Biyokimyasal Esası

Bazı bakteriler havalı ve havasız koşullarda etanol üretebilirler. Buna karşılık bunların bir kısmı etil alkolün yanısıra fazla miktarda yan ürünler oluştururlar. Etanol üretimi için 3 ana metabolik yol vardır. Farklı fermentasyon tiplerinin enerji ürünleri bu metabolik yollara bağlı olarak önemli farklılıklar gösterirler. Etanol üretimi için izlenen metabolik yollar:

a) Embden - Meyerhof yolu : 1 mol glikozun etanol ve 2 mol CO₂'e parçalanması ile 2 mol ATP açığa çıkar. Bu metabolik yol denemeye alınan mikroorganizmaların büyük çoğun-

luğu (*Enterobacteriaceae*, *Clostridia*, *Sarsina* türleri) ve mayalar tarafından izlenmektedir.

b) Entner - Doudorof yolu : 1 mol glikozdan 2 mol pürivat oluşur ve 1 mol ATP açığa çıkar. *Zymomonas* türleri glikozu bu yol üzerinden metabolize eder.

c) Heterolaktik fermentasyon : 1 mol glikozdan 1 mol ATP üretilir ve *Leuconostoc mesenteroides* tarafından izlenir.

3. Etanol Üreten Bakteri Türleri

Bakterilerin metabolik özelliklerine göre sınıflandırılması etanol üretiminde uygun mikroorganizma seçimi üzerine yapılan temel araştırmalar için bir kıstas olmuştur. Buna rağmen endüstriyel gereksinimler; mikroorganizmanın sıcaklık isteği, etanol verimi, etanol toleransı, değişik ve çeşitli substrat kullanabilme özellikleri v.b. diğer parametrelerle belirlenir. Denemeye alınan bakterilerin çoğu bu kriterlere göre Tablo 1'de listelenmiştir. Bu listede, bir kıyas olanağı yaratmak amacıyla teknikte kullanılan *S. cerevisiae*, *S. uvarum* da verilmiştir.

4. Bakteriyel Etanol Üretimine Teknik ve Ekonomik Görünümü

4.1. Mezofilik Bakteriler

Tablo 1'den de görülebildiği gibi bazı bakteriler gerçekten yüksek verimde etanol üretebilmektedir. Özellikle *Z. mobilis* % 97 etanol verimine sahip olup, bu değer diğer bakterilerinkinden, hatta mayanınkinden (% 89) de yüksektir. Mezofilik grup içerisinde yalnızca *Z. mobilis* gerçek anlamda etanol üreticisi olarak düşünülebilir.

Bu bakterinin etanol toleransı (% 7) diğer bakterilerinkine oranla yüksek, fakat mayanınkinden (% 8 - 10) oranla düşüktür. Son yıllarda bu bakteri üzerinde yoğunlaştırılan çalışmalarla yüksek etanol toleransına (% 12) sahip suşlar elde olunmuştur (Rogers ve ark, 1985).

Buna karşın *Z. mobilis* bakterisinin üstünlükleri değişik ve çeşitli substrat kullanımının sınırlı olması özelliği ile dengelenmektedir. Ayrıca tüm suşları glikoz ve früktozu kullanabilmesine rağmen ancak % 50 si sakkarozu kullanabilmekte ve sakkarozdan yan ürün olarak önemli ölçüde levan ve sorbitol oluşturmaktadırlar.

Tablo 1. Etanol Üreten Bakteriler, Verimleri ve Substrat Kullanımları (Esser ve Karsch, 1984)

Organizma	Topt °C	Y _{50H}	Etanol toleransı	Substrat					Özel Substratlar	
				Heksozlar	Disak- karit- ler	Selüloz	Nişasta	Hemiselüloz (Polimer Pentozlar)		
Mezofilik (20 - 40°C) :										
<i>Erwinia amylovorans</i>	27 - 30	60	?	X	X	—	—	—	—	—
<i>Sarcina ventriculi</i>	30 - 37	50	?	X	X	—	—	—	—	—
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	20 - 30	55	?	X	X	—	—	—	—	Laktoz
<i>Zymomonas mobilis</i>	30	97	7	X	X	—	—	—	—	—
Termofilik (40 - 65°C) :										
<i>Clostridium thermo- saccharolyticum</i>	60	55	5	X	X	—	—	X	—	Ksılan
<i>Clostridium thermoceillum</i>	65	50	5	X	X	X	—	—	—	—
Aşırı Termofilik (65°C) :										
<i>Thermoanaerobacter ethanolicus</i>	69	90	?	X	X	—	—	X	—	Ksiloz
<i>Clostridium thermo- hydrosulfuricum</i>	69	80	?	X	X	—	—	X	—	Sellobiyoz Ksiloz Pektin Sellobiyoz Laktoz Sellobiyoz
<i>Thermoanaerobium brockii</i>	65 - 70	48	?	X	X	—	—	X	—	Laktoz Sellobiyoz
<i>Saccharomyces türleri</i>	30 - 35	80	8 - 10	X	X	—	—	—	—	—

4.2. Termofilik ve Aşırı Termofilik Bakteriler

Termofilik bakteriler kısmen düşük etanol verimine sahiptir ve ancak % 5 e kadar etanole dayanabilirler. Fakat değişik substratları (selüloz ve nişasta dahil) kullanım alanları çok geniştir (Esser ve Karsch, 1984).

Aşırı termofilik bakterilerin etanol verimi mayanınkine yakın olup, değişik substratları kullanım alanları termofilik bakterilerinkinden daha da geniştir. Örneğin *Thermoanaerobium brockii* laktozu, böylece peynir altı suyunu kullanabilir.

Wiegel (Rehm ve Reed, 1983) e göre yüksek sıcaklıktaki fermentasyonun bazı yararları şunlardır:

a) Termofiller gelişmeleri için optimum olan sıcaklıklarda yüksek katabolik aktivite gösterirler. Bu daha kısa fermentasyon süresi, daha yüksek verimlilik ve fermentasyon etkisinde bir artış demektir.

b) Artan sıcaklıkla birlikte fermentasyon ortamında oksijen ve diğer gazların çözünürlüğü azalır. Bu durum anaerobik koşulların oluşumuna ve korunmasına yardım eder. Örneğin, aşırı termofillerin optimum sıcaklıkları 66-69°C'dir ve bu sıcaklıkta oksijenin ortamda çözünürlüğü 30°C'dekine kıyasla % 80 daha azdır.

c) Çevre sıcaklığında düşük çözünürlükteki substratlar yüksek fermentasyon sıcaklığında daha fazla çözünürlük göstereceklerdir. Böylece substratın uygunluğu teknik yönden sınırlayıcı bir faktör olmaktan çıkacaktır.

d) Artan sıcaklıkla fermentasyon ortamının viskozitesi azalır. Böylece ortamının karıştırılması için gerekli enerji azalacaktır.

e) Yüksek sıcaklıklarda etanolün ayrılması kolaydır. Vakum fermentasyon gibi etanolün fermentasyon sırasında ayrıldığı sürekli yöntemlerde bu özellikten yararlanılabilir. Gaz yapısındaki alkol oranının artışı ürünün etkili bir biçimde geri eldesi için gereksinme duyulacak vakum miktarını azaltır.

f) Mikroorganizmaların metabolik aktivitesi ve karıştırma ile meydana gelen sürtünme etkileri fazla miktarda ısının açığa çıkmasına neden olur. Böylece fermentasyon kabını arzulanan sıcaklıkta muhafaza etmek ve ayrıca sterilizasyondan sonra soğutma işlemi için harcanacak ilave enerji en aza indirilir.

g) Termofilik fermentasyonda, mezofilik bakterilerdekine kıyasla steril koşullar zorunlu değildir. Buna karşın termofilik küf ve diğer bakteriler tarafından kontaminasyon olabilir.

Çeşitli bakterilerin değişik ve birbirini tamamlayan üstünlüklerini birleştirmek için karışık kültürlerle çalışılmıştır. Örneğin, *Clostridium thermocellum* selülozu parçalayabilmekte, fakat düşük etanol verimine (% 50) sahiptir. *Clostridium thermohydrosulfuricum* selülozu kullanamaz, fakat önemli ölçüde fazla (% 80) etanol üretebiliyor. Karışık bir kültürde bakterilerin birbirini tamamlamalarıyla selülozdan % 70 etanol verimi elde edilebilmektedir.

5. Maya ve Bakteri Fermentasyonlarının Kıyaslanması

Maya ve bakteri fermentasyonlarının kıyaslanması bu yöntemlerin kinetikleri sayesinde yapılabilir. Gözlemlenen farklılık bu iki mikroorganizmanın metabolik farklılığından kaynaklanmaktadır.

Rogers ve ark. (1980)'na göre belirli koşullarda, kesikli ve sürekli fermentasyonda *Z. mobilis* *S. uvarum*'a oranla daha etkili bir fermentasyon başarmaktadır. Bu bakteri türünün üstünlüğünü gösteren anahtar özellikteki kinetik parametreler özgül gelişme hızı μ (mayaninkinden 2.4 kez yüksek), özgül etanol üretim hızı, q_p (2.9 kez yüksek) ve özgül glikoz kullanım hızı, q_s (2.6 kez fazla) dir. Aynı glikoz konsantrasyonunda ve hücre dönüşümlü olarak çalıştırılan sürekli bir yöntemde bakteriyel etanol verimliliğinin mayanınkinin 4.1 katı olduğu gene aynı araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir.

Etanol üretiminde yüksek kinetik parametrelere sahip *Z. mobilis* bakterisi substrat seçiciliği sorunu çözümlendiği takdirde ideal bir etanol üreticisi olacaktır.

Kiyaslamaya fermentasyon endüstrisinin teknolojik koşulları açısından bakmak gerektiği zaman bazı kriterler şöylece sıralanabilir.

a) Fermentasyon sıcaklığı : Yakıt alkolü üretiminde termofilik mikroorganizmalar kullanmanın daha önce (4.2) sözü edilen çeşitli yararları vardır. Optimum fermentasyon sıcaklığı 50°C olan bir maya bulunmadığı için böyle bir işlemde bakterilerin gerekli olduğu açıktır.

b) Oksijen gereksinimi : Maya fermentasyonunda hücre duvarı sentezi, lipid yapının stabilitesi ve genel olarak hücre faaliyetlerinin muhafazası için oksijen gereklidir. Buna karşın havalı koşullar aynı zamanda etanol veriminde bir düşmeye ve «Pasteur etkisi» nedeniyle biyokitle konsantrasyonunda bir artışa neden olurlar. Birçok bakteri tam anaerob olduğundan, havasız koşullarda bakterilerle daha yüksek etanol verimliliği ve daha düşük biyokitle konsantrasyonu sağlanabilir. Düşük bakteriyel hücre konsantrasyonu gelişme için gereken enerjinin azalması demektir.

Havasız koşullarda çalışabilen bir mikroorganizmanın (bakteri) kullanılmasıyla maya fermentasyonunda hücre gelişimi için ortama verilmesi gereken havalandırma masrafı ortadan kalkacaktır.

c) Asit oluşumu : Etanol fermentasyonunda yan ürün olarak asetik asit ve laktik asit de sentezlenir. Oluşan asitin miktarı fermentasyon tipine (havalı veya havasız) bağlı olmakla birlikte, özellikle kullanılan mikroorganizmaya bağlıdır. Maya, termofilik ve aşırı termofilik bakteriler mezofilik bakterilere oranla kısmen daha fazla organik asit üretirler. Örneğin, *Clostridium thermohydrosulfuricum* 1 mol glikozdan 0.5 mol'e kadar asetik asit veya laktik asit üretebilir. *Z. mobilis* için bu rakam 0.03 mol'den daha azdır. Doğal olarak fazla miktarda organik asit oluşması etanole dönüşecek substrat miktarını azaltır.

d) Vakum fermentasyonu : Etanolün kaynama noktasını fermentasyon sıcaklığına indirmek suretiyle düşük basınç altında (vakum) sürdürülen sürekli fermentasyon sayesinde etanolün damıtma yoluyla sürekli bir biçimde fermentasyon ortamından ayrılması olasıdır.

Doğal olarak bu yöntem, aşırı termofilik mikroorganizmaların kullanıldığı bir fermentasyonda tercih edilecektir.

Biyoteknolojide vakum fermentasyonunun doğrudan kullanılmasına ilişkin bazı tartışmalar yapılmaktadır. Çünkü bu mikroorganizmalar için yalnızca laboratuvar koşullarında geliştirilmiş vakum tekniğinin büyük ölçekte uygulanabilmesi için oldukça fazla yatırıma gerek vardır.

e) Kontaminasyon : Etanol fermentasyonunda aside toleransı nedeniyle mayanın kontaminasyon tehlikesi düşüktür. Pratikte ortamın başlangıç pH'sı 3 - 3.5 dur ve bu pH değeri fermentasyon sırasında organik asit oluşumuyla yeniden kazanılır. Mezofilik bakterilerde (*Z. mobilis*) pH toleransı oldukça düşüktür (pH: 5).

Bu nedenle asit konsantrasyonunu (pH'yı) ayarlamak suretiyle gerçekleştirilebilecek bir otosterilizasyon mümkün olmamaktadır. Bu durum bakterinin steril koşullarda yetiştirilmesini gerektirir.

Aşırı termofilik bakterilerle çalışıldığında kontaminasyon sorunu çok daha kolay çözümlenir, çünkü 65°C'nin üzerinde birçok kontaminant gelişemez.

Diğer taraftan Roger ve ark. (1985)'nin bulgularına göre *Z. mobilis* diğer bakteri suşlarının (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* ve *Pseudomonas aeruginosa* v.b.) gelişmesini engelleyen antibakteriyel özellikteki bileşikler üretmektedir. Bu özellik, sürekli yöntemle *Z. mobilis* fermentasyonunda kısmen yüksek etanol seviyesi ile birlikte ele alındığında, kontaminasyon olasılığını önemli ölçüde azaltacaktır.

Kontaminasyon ve kontrolü yeni bir prosesin ekonomik başarısında önemli rol oynar. Bu nedenle bu sorun üzerinde çalışmalar başlatılmıştır (Rogers ve ark., 1985). En çok rastlanan kontaminantlar (*Lactobacillus* ssp.) izole edilmişler ve *Z. mobilis*'in kesikli ve sürekli kültürlerine doğrudan aşılantıdır. Deneme sonuçlarına göre kesikli yöntemde % 1 - 10 kontaminan ilave edildiği zaman hücre gelişiminde ve etanol üretiminde önemli bir azalma meydana gelmiştir. *Z. mobilis* suşlarının birtakım antibiyotiklere ve gelişme engelleyicilere (inhibitör) kısmen daha dayanıklı oldukları göz önüne alı-

arak, düşük konsantrasyonda benzyl - penicilin (10 mg/l) ilavesi kesikli yöntemdeki kontaminasyon kontrolünde etkili olmaktadır.

Buna karşın 60 - 65 g/l etanol konsantrasyonundaki sürekli yöntemde % 10 kontaminant ilavesi fermentasyonda yalnızca geçici bir sızıntıya neden olmuş ve 5 - 6 generasyonla birlikte normal koşullar yeniden kazanılmıştır.

6. Etanol Üretiminde *Z.mobilis* Bakterisinin Ticari Görünümü

Etanol üretimi amacıyla *Z. mobilis* bakterisi ile sürekli fermentasyon yöntemi 1978 den bu yana Avustralya Biyoteknoloji okulunda Rogers ve arkadaşları tarafından geliştirilme aşamasındadır. Bu proje çerçevesinde ABD'de 1000 l fermentör kapasiteli bir pilot fabrikada substrat olarak mısır nişastası kullanılmakta, Avustralya'da 150 l kapasiteli bir pilot fabrikada «cassava» hidrolizati kullanılmakta olup, pilot fabrika boyutlarında yöntemin ekonomisi hesaplanmaktadır.

Rogers ve ark. (1985)'na göre *Zymomonas* yönteminin ekonomik görünümü, mayanın kullanıldığı klasik yöntemle kıyaslandığı zaman şöylece özetlenebilir :

a) Fermentasyon ekipmanlarına ilişkin kapital masrafları en az % 50 azalmaktadır (*Z. mobilis*'in daha yüksek özgül gelişme hızı ve etanol verimliliği nedeniyle),

b) Farklı karbonhidrat metabolizması nedeniyle nişasta üzerinden % 5'lik ürün artışı;

c) Artan etanol konsantrasyonu nedeniyle damıtma masraflarında % 10 - 15 azalma, ve diğer üstünlükleri;

— Maya fermentasyonu için gerekecek havalandırma masrafları ortadan kalkmakta,

— Kirlenme sorunu azalmakta (daha az yan - ürün),

— Yan ürün olarak değerlendirilecek biyokütlenin daha yüksek birim değeri (*Z. mobilis* % 65 - 70, maya % 50 ham protein içeriyor).

Şimdilik ticari denemeler nişasta temelli substratlar üzerine, fakat gelecekteki suş geliştirme ve «fed batch» fermentasyon tekniği sayesinde melas, şeker pancarı şırası v.b. sakkaroz temelli substratlar için de *Z. mobilis* yönteminin uygulanabilirliği artacaktır. *Zymomonas* üzerindeki genetik çalışmalar; bakterinin etanol toleransını artırmak, stabil flokkulant suşlar izole etmek ve mevcut substratları kullanma alanını genişletme yönünde olmaktadır. Genetik çalışmalarla laktoz ve galaktozdan kısmen etanol üretebilen suşlar da elde edilmiştir. Fakat bu çalışmalar henüz başlangıç aşamasında olup ilave çalışmalara gerek duyulmaktadır.

Tablo 2'de *Zymomonas* yöntemine ilişkin endüstriyel uygulamalar özetlenmiştir.

Tablo 2. *Zymomonas* ile Endüstriyel Uygulamalar

Suş	Substrat	Yöntem	Kapasite (l)	Ülke
ZM4 (ATCC 31821)	Cassava hidrolizati	Kesikli	150	Avustralya
ZM4 (ATCC 31821)	Mısır nişastası hidrolizati	Sürekli	1.000	ABD
ATCC 29191	Buğday nişastası hidrolizati	Sürekli	50.000	B. Almanya

Tablo 3. Etanol Üreten Bakterilerin ve Mayanın Fermentasyon Endüstrisindeki Olumlu ve Olumsuz Yönleri (Esser ve Karsch, 1984).

	Termofilik ve aşırı termofilik bakteriler	Mezofilik bakteriler (özellik Zymomonas)	M a y a
Olumlu Yönleri	Değişik ve çeşitli substratları kullanılabilme (nişasta ve selülozun doğrudan fermentasyonu) Glikoz fermentasyonunda yüksek dönüşüm hızı Düşük biyokitle üretimi Steril koşulların korunmasında kolaylık Vakum fermentasyon olanağı	Çok yüksek verim Yüksek dönüşüm hızı Düşük biyokitle üretimi Çok az yan ürün	Yüksek etanol verimi Yüksek etanol toleransı Yüksek dönüşüm hızı Düşük kontaminasyon tehlikesi Az miktarda yan ürün
Olumsuz Yönleri	Yöntem teknolojisinde değişiklik Fazla miktarda organik asit oluşumu Düşük etanol toleransı Normal etanol verimi	Çok sınırlı substrat kullanımı Kontaminasyon tehlikesi Düşük etanol toleransı *	Sınırlı substrat kullanımı Fazla biyokitle üretimi

* Son yıllarda etanol toleransı mayanınkinden eşdeğer Z. mobilis suşları izole edilmiştir.

7. SONUÇ

Etanol üretimi için fermentasyon endüstrisinin özel teknik koşullarına uyabilen, yüksek etanol verimli, sıcaklık ve etanol toleransı yüksek, değişik substratları kullanma yeteneğindeki mikroorganizmalara gerek duyulmaktadır. Bu kriterler gözönüne alındığında bazı bakteriler mayaya oranla üstünlükler göstermektedir. Buna rağmen biyoteknolojik işlemlerde bunların kullanımını engelleyen bazı etkenler söz konusudur. Tablo 3 etanol üreten bakterilerin endüstriyel kullanımları açısından olumlu ve olumsuz yönlerini göstermekte ve maya ile kıyaslamaktadır.

İdeal olan taleplerin tümü (yüksek etanol verimi, ucuz ve bol substrat, küçük işlem teknolojisi v.b.) tek olarak hiçbir bakteri ve maya ile sağlanamaz. Bu nedenle mevcut yöntemler, hesaplamalarda ve buradan hareketle mikroorganizma seçiminin yapılmasında esas olarak alınmıştır. Etanol üretimi için mikroorganizma seçiminde gözönüne alınacak esaslar şunlar olmalıdır :

1. Eğer ucuz hammadde mevcut ise (fazla miktarda karbohidrat polimerleri içeren biyoatık v.b.) mikroorganizma olarak aşırı termofilik bakteriler seçilmelidir. Bu durumda yöntemin olumsuz yönü (düşük etanol verimi) ucuz substrat kullanılması ile dengelenebilecektir.

2. Hammadde olarak peynir altı suyu düşünülüyorsa, aşırı termofilik bakteri olan *Thermoanaerobium brockii* (laktöz parçalayabilen olarak bilinen birkaç mikroorganizmadan biri) kullanılabilir.

3. Eğer hammadde fiyatı yüksek hesaplanıyorsa ve günümüzde birçok üreticinin istediği gibi yüksek etanol verimi amaçlanmışsa *Z. mobilis* en uygun mikroorganizmadır. Fakat tüm dünya üzerinde yapılan araştırmalara ve harcanılan çabaya rağmen *Zymomonas* başarılı bir biçimde mayanın yerini alabilmek için hazır değildir. Bunun nedeni, bazı teknik olumsuzlukları (steril fermentasyon v.b.) ve suş geliştirme işleminin henüz tamamlanmamış olmasıdır. *Z. mobilis*, substrat seçiciliği sorunu çözümlendiği takdirde ideal bir etanol üreticisi olacaktır.

Etanol üretiminde yöntemin ekonomisini olumlu yönde etkileyecek bir diğer yol substrat dönüşüm hızının geliştirilmesidir. Sürekli yöntemlerde immobilize hücreler veya flokkulan suşlar kullanmak suretiyle fermentör içerisindeki biyokitle konsantrasyonunu artırarak substrat dönüşüm hızı yükseltilebilir.

Endüstriyel açıdan tüm bu koşullar gözönüne alındığında maya bakteriyeye oranla hâlâ üstün görünmektedir. Şu andaki görünüme göre, termofilik bakterilerin tüm üstünlüklerine karşın, *Z. mobilis* ileride mayanın yerine kullanılacak tek bakteri olarak düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

- Esser, K. and T. Karsch, 1984. Bacterial Ethanol Production : Advantages and Disadvantages. *Process Biochemistry* 19, 3, 116-121.
- Rehm, H.J. and G. Reed, 1983. *Biotechnology*, Volume 3, Weinheim. 642 s.
- Rogers, P.L., K.J. Lee and D.E. Tribe, 1980. High Productivity Ethanol Fermentation With *Zymomonas mobilis*. *Process Biochemistry* 15, 7-11.
- Rogers, P.L., A.T. Strzelecki and A.E. Goodman, 1985. Commercial Potential of *Zymomonas* Process for Ethanol Production. Symposium on «Commercial Feasible Alcohol Fermentation Systems», August 15, Helsinki - Finland.