

[Lehrstuhl Mikrobiologie, Fachbereich Lebensmitteltechnologie, Humboldt-Universität zu Berlin, Deutschland]

Microbial Hydrolysis of Inulin-containing Juice from Jerusalem Artichoke to Fructose-syrup

Die mikrobielle Hydrolyse von inulinhaltigem Topinambursaft zu Fructosesirup

B. Geitel, W. Ryl, B. Fiedler

Key words: Microbial hydrolysis, yeast-strains, inulin, Jerusalem Artichoke juice, fructose-syrup

Summary

Microorganisms are better for hydrolysis of inulin from Jerusalem Artichokes to produce high-fructose syrup than acids or special enzymes. Dead cells of 3 from 4 investigated yeast-strains with inulase-activity are in the situation to hydrolyze 80% of inulin after 24 h in Jerusalem Artichoke juice under the following conditions: 50 °C; pH 4.7; inoculum $1 \cdot 10^8$ yeast cells/ml Jerusalem Artichoke juice. Under these conditions result 57 g/l reducing sugars, among them 95% fructose.

The yeast-strains – adapted on Jerusalem Artichoke juice – hydrolyze under the same conditions only 57% pure inulin.

Because the polymerisation-rate of inulin in Jerusalem Artichoke vary seasonally the hydrolysis intensity and fructose-yields brought about by the yeasts may differ according to harvesting-time.

Zusammenfassung

Für die Hydrolyse von Topinamburinulin zu fructosehaltigem Sirup eignen sich Mikroorganismen besser als Säuren oder spezielle Enzyme. Abgetötete Zellen von 3 der 4 untersuchten inulaseproduzierenden Hefestämme sind in der Lage, bei 50 °C, pH-Wert 4,7 und einem Inoculum von $1 \cdot 10^8$ Zellen/ml Topinambursaft, das enthaltene Inulin nach 24 Stunden zu 80% zu hydrolysieren. Es entstehen 57 g/l reduzierende Substanzen, von denen etwa 95% Fructose sind. Die an den Topinambursaft adaptierten Hefen erzielen an reinem Inulin bei gleichen Bedingungen nur Hydrolysegrade von 57%.

Wegen des jahreszeitlich stark schwankenden Polymerisationsgrades des Inulins in der Topinambur können auch die durch die Hefen erzielten Hydrolysegrade und Fructoseausbeuten je nach Erntezeit schwanken.

Auf der Suche nach neuen Nahrungsmittelquellen und nachwachsenden Rohstoffen hat man sich in den letzten Jahren zunehmend der Topinambur (*Helianthus tuberosus*) zugewandt, da sie neben einem hohen Polyfructangehalt in den Knollen (80% Inulin in der Trockensubstanz) auch aus landwirtschaftlicher Sicht viele Vorteile hat.

Topinambur gilt als anspruchslos bezüglich Bodenbearbeitung, Düngung und Bewässerung. Außerdem ist sie frosthart, dürrefest, krankheitsimmun und unkrautvernichtend wie kaum eine andere Pflanze (Küppers-Sonnenberg, 1950). Zudem ist die Topinambur in der Lage, Nährstoffüberangebote abzubauen und ist andererseits auch auf nährstoffarmen Böden ertragreich.

Der Wert der Topinambur liegt in dem bis zu 20% in den Knollen enthaltenen Inulin. Für dieses Polyfructosan zeichnen sich verschiedene Anwendungsgebiete ab. Es wird häufig als Trägermaterial für pharmazeutische Produkte oder als gäreförderndes Backhilfsmittel

verwendet. In jüngster Zeit werden auch reine Topinambursäfte oder Mischsäfte ohne Zucker sowie Milchprodukte mit hohem Anteil Topinambursaft bzw. -sirup hergestellt (Arbeitskreis „Nachwachsende Rohstoffe – Topinambur“, 1991).

Der Einsatz inulaseproduzierender Hefen bei der Herstellung von Topinamburbranntwein wird bei Schwarz/Hammes (1991) beschrieben.

Aus Topinamburinulin lassen sich Sirupe erzeugen, in denen 75 % bis 98 % der Kohlenhydrate Fructose sind (Workman/Day, 1984). Dieses stellt eine Alternative zur Isomerisierung von Glucose zu Fructose dar und kann auf dem Weg der hydrolytischen Spaltung – chemisch, enzymatisch oder mikrobiell – erfolgen. Fructose ist als Rohstoff für die Süßwaren- und Getränkeindustrie besonders gut geeignet. Sie gewinnt auf medizinischem Gebiet für die Prophylaxe von Diabetis mellitus, zur Behandlung von Leber- und Gallenleiden sowie Bauchspeicheldrüsen-Erkrankungen zunehmend an Bedeutung (Arbeitskreis „Nachwachsende Rohstoffe – Topinambur“, 1991).

Die Herstellung von Fructose aus inulinhaltigem Topinambursaft mittels saurer Hydrolyse führt zu unerwünschten Nebenprodukten, Farb- und Geschmacksstoffen (Workman/Day, 1984). Das Enzym Inulase, welches in den Topinamburknollen enthalten ist, kommt für die technische Gewinnung fructosehaltiger Topinambursäfte nicht in Betracht, da seine Aktivität zu gering ist (Barta et al. 1989).

Mikrobielle Inulasen zur Hydrolyse von Inulin können sowohl aus Schimmelpilzen wie *Penicillium*, *Fusarium* oder *Aspergillus*-Arten als auch aus verschiedenen Hefen wie *Kluyveromyces*-, *Saccharomyces*-, *Candida*- und *Pichia*-Arten gewonnen werden (Karrer, 1925; Barta et al. 1989; Pringsheim, 1931). Diese mikrobiellen Enzyme haben ein pH-Optimum von 3,5 bis 5,5 und ein Temperaturoptimum von 45 °C bis 55 °C (Zittan, 1981). Für eine optimale Hydrolyse von Topinamburinulin zu fructosereichem Saft ist die Verwendung von Exo- als auch Endo- β -2,1-Fructan-Fructanohydrolasen und Invertase vorteilhaft (Schulz, 1991).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Fähigkeit verschiedener Hefestämme, Topinamburinulin zu einem stark mit Fructose angereicherten Topinambursaft zu hydrolysieren und die dafür optimalen Bedingungen zu ermitteln. Durch den Einsatz inulinverwertender Hefen für den genannten Zweck ist die Möglichkeit gegeben, teure Enzyme zu ersetzen und die Hydrolysezeiten zu verkürzen.

Der Hydrolyseverlauf kann durch die Bestimmung der reduzierenden Substanzen verfolgt werden, da die Endprodukte der Fructanhydrolyse, Fructose und Glucose, reduzierende Eigenschaften besitzen. Inulin ist ein Polyfructan, bestehend aus linearen Ketten von ungefähr 35 D-Fructosemolekülen, die vereinigt sind durch β -2,1-Bindungen und terminal durch ein D-Glucosemolekül, welches mit Fructose eine α -1,2-Bindung eingeht, abgeschlossen werden (Duvnjak et al., 1982). Der Glucoseanteil des reinen Inulins beträgt 3 % (Zittan, 1981). Man kann davon ausgehen, bei der Verfolgung des Hydrolyseverlaufes von Topinamburinulin durch Ermittlung der reduzierenden Substanzen etwa 95 % bis 98 % als Fructose zu erfassen.

Material und Methoden

Topinambursaft wird durch Auspressen und anschließender wäßriger Extraktion von Schnitzeln gewonnen. Der wäßrige Preßsaft wird 5 min bei 100 °C erhitzt, zentrifugiert, nochmals 20 min bei 100 °C erhitzt und zentrifugiert. Nach Einstellen des pH-Wertes wird der Saft 10 min bei 110 °C sterilisiert.

Der für alle Untersuchungen verwendete Saft hat einen Gesamtfructangehalt von 67,58 g/l und enthält 13,1 g/l reduzierende Substanzen.

Für vergleichende Untersuchungen wird Inulin der Firma Difco Laboratories Inc. Detroit/Michigan mit einer mittleren Molmasse von 5000 verwendet und als 10%ige Lösung hergestellt.

Folgende 4 Hefestämme mit Inulaseaktivität werden eingesetzt:

<i>Candida guilliermondii</i> –	DSM 70052,
<i>Zygosaccharomyces florentinus</i> –	DSM 70506,
<i>Torulaspora delbrückii</i> –	DSM 70526,
<i>Kluyveromyces marxianus</i> –	DSM 70904.

Die Hefeanzucht erfolgt in Nährlösungen, die 5,0% Topinambursaft, 0,3% Hefeextrakt, 1,0% $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 0,05% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ und 0,015% FeSO_4 enthält. Die Lösung wird 10 min bei 110 °C sterilisiert und die Kulturen darin 24 h bei 35 °C geschüttelt. Nach dem Abtrennen der Hefen vom Anzuchtmedium durch Zentrifugieren werden die Zellen mit 96%igem Ethanol abgetötet. Nach dem Abzentrifugieren des Ethanols erfolgt eine zweimalige Waschung der Hefezellen mit 0,1 M Acetatpuffer, pH-Wert 5,0. Für die Hydrolyseversuche wird eine definierte Zellzahl in Kölbchen mit auf 50 °C temperiertem, sterilem Topinambursaft gegeben.

Es erfolgt eine regelmäßige Probenahme zur Ermittlung des Gehaltes an reduzierenden Substanzen.

Die Proben werden durch Membranfilter mit 0,45 µm Porenweite filtriert.

Die Bestimmung des Gehaltes an reduzierenden Substanzen erfolgt, indem 2,0 ml Probelösung versetzt werden mit 2,0 ml Dinitrosalicylsäure-Lösung (2,5 g 3,5-DNSS + 100 ml Aqua dest. + 50 ml 2N NaOH + 75 g Kalium-Natriumtartrat lösen, mit Aqua dest. auf 250 ml auffüllen und filtrieren).

Das Probegemisch ist 5 min in siedendem Wasser zu erhitzen, sofort abzukühlen und 20,0 ml Aqua dest. zuzugeben. Nach Umschütteln wird bei einer Wellenlänge von 526 nm gegen eine analog hergestellte Blindprobe die Extinktion gemessen. Die Berechnung des Gehaltes an reduzierenden Substanzen erfolgt mittels Eichkurve, die unter Verwendung von Fructose hergestellt wird. Der Hydrolysegrad p errechnet sich aus:

$$p = \frac{RS_t - RS_0}{Gf - RS_0} \cdot 100$$

RS_t = reduzierende Substanzen zum Zeitpunkt t
 RS_0 = reduzierende Substanzen zu Beginn der Hydrolyse
 Gf = Gesamtfructangehalt

Die volumetrische Produktivität Q_p ergibt sich aus:

$$Q_p = \frac{p_{\text{end}} - p_0}{t_{\text{end}} - t_0}$$

p_{end} = Produktkonzentration zum Ende der Hydrolyse
 p_0 = Produktkonzentration zu Beginn der Hydrolyse
 t_{end} = Ende der Hydrolyse
 t_0 = Beginn der Hydrolyse.

Ergebnisse und Diskussion

In Vorversuchen wurde festgestellt, daß sich mit lebenden Hefezellen die Hydrolyse des Topinamburinulins nicht so steuern läßt, daß ein fructosereicher Saft entsteht. Das Inulin wird durch die Hefen abgebaut und die entstehende Fructose gleichzeitig vergoren.

Als optimale Bedingungen für die Wirkung der Enzyme der eingesetzten abgetöteten Hefezellen auf das Topinamburinulin konnte eine Temperatur von 50 °C und ein pH-Wert von 4,7 ermittelt werden. Die Untersuchung des Einflusses der Hefezellzahl auf die Hydrolyse des Topinamburinulins erfolgte bei den genannten Bedingungen. Bei einer Einsaat von $2 \cdot 10^5$ Zellen je ml Topinambursaft kommt es im Verlauf von 24- und 72stündigen Hydrolysen nur zu einem sehr geringen Anstieg des Fructosegehaltes im Saft von 13,1 g/l auf 19,9 g/l. Eine Erhöhung der Zellzahl auf $2 \cdot 10^6$ /ml Topinambursaft ergibt noch keinen signifikanten Anstieg des Gehaltes an reduzierenden Substanzen. Erst bei einem Inoculum von $1 \cdot 10^8$ Zellen/ml Saft können zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden.

Eine Ausnahme bildet der genutzte Stamm von *Candida guilliermondii*. Erst nach 24 Stunden werden damit Fructosegehalte von 30,57 g/l erreicht, wogegen dieser Wert durch die anderen drei Hefestämme schon nach etwa einstündiger Hydrolyse erzielt wird. Dementsprechend sind auch Hydrolysegrad und Produktivität für *Candida guilliermondii* mit einer Einsaat von $1 \cdot 10^8$ Zellen/ml Saft geringer als bei den anderen Hefestämmen (Tab. 1).

Bei einer Erhöhung der Zellzahl auf $10 \cdot 10^8$ /ml Saft kann mit *Candida guilliermondii* ebenfalls nur eine geringe Erhöhung des Gehaltes an reduzierenden Substanzen und des Hydrolysegrades festgestellt werden. Die Hefe verfügt offenbar über eine geringere Inulaseak-

Tabelle 1. Hydrolyse von inulinhaltigem Topinambursaft mit abgetöteten Hefezellen bei 50°C, pH-Wert 4,7 und $1 \cdot 10^8$ Zellen/ml TopinambursaftTable 1. Hydrolysis of inulin-containing Jerusalem Artichoke juice with dead yeast-cells at 50°C, pH 4,7 and with $1 \cdot 10^8$ cells/ml juice

Hydrolysezeit (h)	<i>Candida guillermundii</i>	<i>Zygosaccharomyces florentinus</i>	<i>Torulasporea delbrückii</i>	<i>Kluyveromyces marxianus</i>
reduzierende Substanzen (g/l)				
1	15,33	32,66	31,86	31,94
2	17,67	36,04	35,68	36,07
24	30,57	58,86	61,80	63,54
Hydrolysegrad (%)				
1	4,10	35,90	34,40	34,60
2	8,40	42,10	41,40	42,20
24	32,10	84,00	89,40	92,60
Produktivität (g/l·h)				
1	2,23	19,56	18,76	18,84
2	2,28	11,47	11,29	11,48
24	0,73	1,91	2,03	2,10

Tabelle 2. Vergleich des Abbaus von Topinamburinulin durch *Candida guillermundii* bei 50°C, pH-Wert 4,7 und Einsatz unterschiedlicher Zellzahlen je Milliliter TopinambursaftTable 2. Comparison of the decomposition of Jerusalem Artichoke inulin by *Candida guillermundii* at 50°C, pH 4,7 and various inoculated cells per ml jerusalem artichoke juice

Hydrolysezeit (h)	Zellzahl $1 \cdot 10^8$ /ml Saft reduzierende Substanzen (g/l)	Zellzahl $1 \cdot 10^8$ /ml Saft Hydrolyse- grad (%)	Zellzahl $2 \cdot 10^8$ /ml Saft reduzierende Substanzen (g/l)	Zellzahl $2 \cdot 10^8$ /ml Saft Hydrolyse- grad (%)
1	15,33	4,1	17,22	7,6
2	17,67	8,4	19,24	11,3
24	30,57	32,1	32,58	35,8

ktivität als die anderen 3 untersuchten Stämme. Tabelle 2 zeigt die Abbauleistungen von *Candida guillermundii* beim Einsatz von $1 \cdot 10^8$ und $2 \cdot 10^8$ Zellen/ml Topinambursaft.

Es kann festgestellt werden, daß zwischen den untersuchten Hefestämmen von *Zygosaccharomyces florentinus*, *Torulasporea delbrückii* und *Kluyveromyces marxianus* keine wesentlichen Unterschiede bei der Inulinhydrolyse in Topinambursaft bestehen (Abb. 1).

Die optimale Zellzahl bei der Inulinhydrolyse liegt für die verwendeten Stämme bei $1 \cdot 10^8$ /ml Saft. Eine Erhöhung auf $2 \cdot 10^8$ oder $10 \cdot 10^8$ bewirkt keinen signifikanten Anstieg des Gehaltes an reduzierenden Substanzen bei der Hydrolyse des Topinamburinulins. Dagegen führt der Einsatz geringerer Zellzahlen von $0,5 \cdot 10^8$ Zellen/ml Saft zu niedrigeren Fructosegehalten.

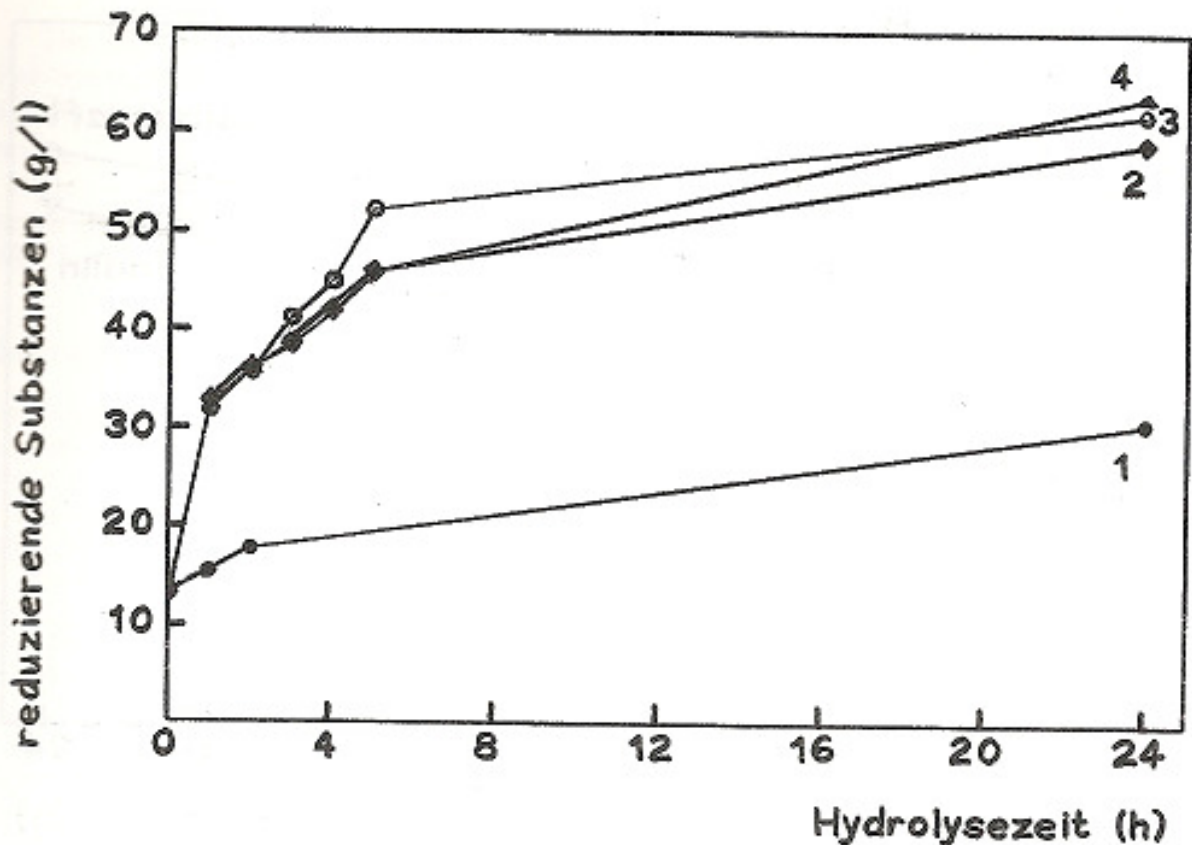


Fig. 1. Comparison of the reducing sugar during the hydrolysis of Jerusalem Artichoke juice at 50 °C, pH 4,7 and inoculum of $1 \cdot 10^8$ dead yeast-cells/ml Jerusalem Artichoke juice by 1-*Candida guilliermondii*, 2-*Zygosaccharomyces florentinus*, 3-*Torulaspora delbrückii*, 4-*Kluveromyces marxianus*.

Abb. 1. Vergleich der Bildung reduzierender Substanzen während der Hydrolyse von Topinamburinulin bei 50 °C; pH-Wert 4,7 und einem Inoculum von $1 \cdot 10^8$ abgetöteten Hefezellen/ml Topinambursaft durch 1-*Candida guilliermondii*, 2-*Zygosaccharomyces florentinus*, 3-*Torulaspora delbrückii*, 4-*Kluveromyces marxianus*.

Die zu Vergleichszwecken durchgeführten Hydrolyseversuche mit reinem Inulin bei 50 °C, pH-Wert 4,7 und einer Einsaat von $1 \cdot 10^8$ Hefezellen/ml Inulinlösung zeigen, daß es zwischen den 3 Hefestämmen wie bei Topinambursaft keine signifikanten Unterschiede bei der Bildung reduzierender Substanzen, dem Hydrolysegrad und der Produktivität gibt. Inulin wird jedoch wesentlich langsamer abgebaut als Topinambursaft, wie die Werte in Tabelle 3 für *Kluveromyces marxianus* belegen (vgl. Abb. 2).

Die niedrigeren Hydrolysegrade für reines Inulin im Vergleich zu Topinambursaft sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß Inulin einen einheitlichen und hohen Polymerisationsgrad besitzt. Topinambursaft hingegen enthält Fructane aller Polymerisationsgrade, und die angreifenden Enzyme können kürzerkettige wesentlich schneller abbauen als langkettige (Buyn/Nahm, 1978).

Außerdem ist es möglich, daß die Hefen durch die gewählten Anzuchtbedingungen an das Topinamburinulin adaptiert sind und nur mit Topinambursaft eine entsprechende Inulaseaktivität entfalten (Schulz, 1991).

Während die in eigenen Untersuchungen bei gleichen Versuchsbedingungen mit *Kluveromyces marxianus* ermittelten Hydrolysegrade für reines Inulin sehr gut mit den Ergebnissen von Schulz (1991) übereinstimmen, konnten mit Topinambursaft keine so hohen Hydrolysegrade ermittelt werden.

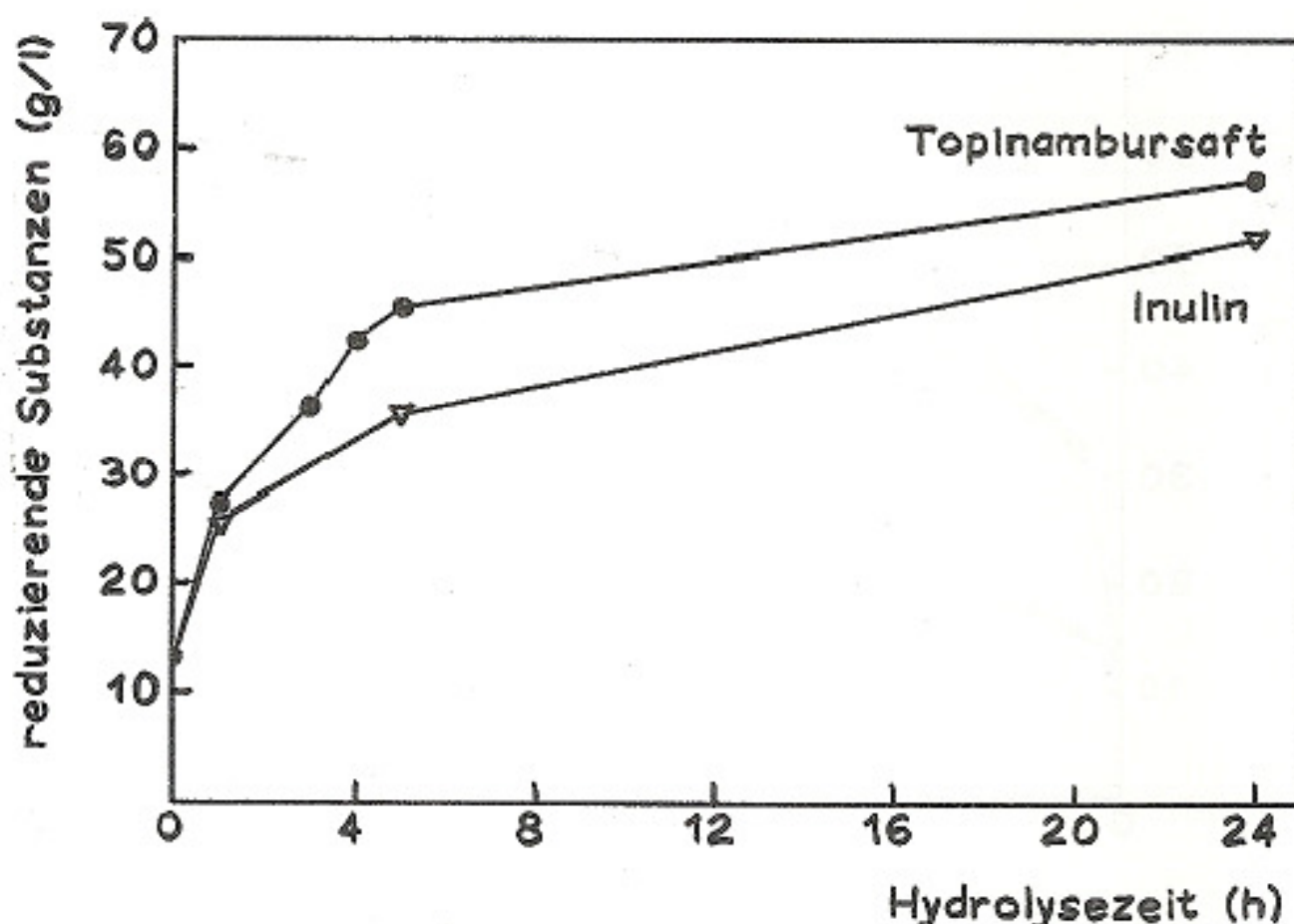


Fig. 2. Comparison of the reducing sugar during the hydrolysis of Jerusalem Artichoke juice and pure inulin under the same conditions (50 °C; pH 4.7; inoculum: $1 \cdot 10^8$ yeast-cells/ml solution) by *Kluyveromyces marxianus*.

Abb. 2. Vergleich der Bildung reduzierender Substanzen bei der Hydrolyse von Topinambursaft und reinem Inulin unter gleichen Bedingungen (50 °C; pH-Wert 4,7; Inoculum: $1 \cdot 10^8$ Hefezellen/ml Lösung) durch *Kluyveromyces marxianus*.

Tabelle 3. Vergleich der Hydrolyse von Inulin und Topinambursaft bei 50 °C, pH-Wert 4,7 und $1 \cdot 10^8$ Zellen/ml durch *Kluyveromyces marxianus*

Table 3. Comparison of the hydrolysis of Inulin and Jerusalem Artichoke juice at 50 °C, pH 4,7 and with $1 \cdot 10^8$ cells/ml by *Kluyveromyces marxianus*

Hydrolysezeit (h)	Inulin	Topinambursaft
reduzierende Substanzen (g/l)		
1	25,43	27,34
5	35,56	45,46
24	44,11	57,16
48	51,62	—
Hydrolysegrad (%)		
1	22,60	26,10
5	41,20	59,40
24	56,90	80,90
48	70,70	—
Produktivität (g/l·h)		
1	12,33	14,24
5	4,49	6,47
24	1,29	1,84
48	0,80	—

Die Ursache dafür ist wohl der jahreszeitlich schwankende Gehalt an langkettigen Polyfructanen in der Topinambur. Während der Wintermonate kommt es durch die originären Enzyme bereits zu einem Abbau des Inulins zu Polyfructanen mit niedrigerem Molekulargewicht.

Bei eigenen Untersuchungen wurde ausschließlich Topinambur aus der Oktober-Ernte verwendet. Zu diesem Zeitpunkt enthalten die Knollen vor allem langkettige Fructane (Conti, 1953). Der Abbau des Inulins durch die Hefen erfolgt deshalb langsamer.

Literatur

- Arbeitskreis „Nachwachsende Rohstoffe – Topinambur“: Broschüre herausgegeben vom Verein pro Brandenburg e. V. Eberswalde, September, 1991.
- Barta, J., Török, S., Vukov, K., Fodor, P., Magyar-Pichler, E.: Die technische Hydrolyse der Fructosane von Topinambur. *Zuckerindustrie* **114** (1989), 397–400.
- Byun, S. M., Nahm, B. H.: Production of fructose from Jerusalem Artichoke by enzymatic hydrolysis. *J. Food Sc.* **43** (1978), 1871–1873.
- Conti, F. W.: Die Gewinnung der Kohlenhydrate der Topinambur. *Zucker* **6** (1953), 120–125.
- Duvnjak, Z., Kosaric, N., Kliza, S., Hayes, D.: Production of alcohol from Jerusalem Artichokes by yeasts. *Biotechn. and Bioeng.* **24** (1982), 2297–2308.
- Karrer, P.: Polymere Kohlenhydrate. Akadem. Verlagsgesell. Leipzig, 1925.
- Küppers-Sonnenberg, G. A.: Zuckerrüben oder Topinambur? *Zucker* **10** (1950), 208–210.
- Pringsheim, H.: Die Polysaccharide. Springer-Verlag Berlin, 1931.
- Schulz, C.: Untersuchungen zum quantitativen und qualitativen Verlauf der Hydrolyse mit Polyfructosanen sowie zur Identifizierung der dabei entstandenen Kohlenhydratfraktionen. Prom. Humboldt-Univ. zu Berlin, 1991.
- Schwarz, E., Hammes, W. P.: Der Einsatz von inulaseproduzierenden Hefen bei der Herstellung von Topinamburbranntweinen. *Chem. Mikrob. Technol.* **13** (1991), 70–75.
- Workman, W. E., Day, D. F.: Enzymatic hydrolysis of inulin to fructose by glutaraldehyd fixed yeasts cells. *Biotechn. and Bioeng.* **26** (1984), 905–910.
- Zittan, L.: Enzymatic hydrolysis of Inulin – An alternative way to fructose production. *Stärke* **33** (1981), 373–377.

Anschrift der Autoren: DI B. Geitel, DI W. Ryl, Dr.-Ing. B. Fiedler, Humboldt-Universität zu Berlin, FB Lebensmitteltechnologie, Lehrstuhl Mikrobiologie, Warschauer Straße 43/44, O-1017 Berlin, Deutschland.

Buchbesprechung

R. A. HERBERT, and R. J. SHARP (Herausgeber): **Molecular Biology and Biotechnology of Extremophiles.**
Verlag Blackie & Son Ltd., Glasgow und London, 1992. 331 S., 21 Tab., 47 Abb. ISBN: 0-216-93153-3

Die Wachstumsoptima extremophiler Mikroorganismen (z. B. Temperatur, pH-Wert, Druck, Salzkonzentrationen) liegen in Bereichen, die den meisten biologischen Systemen Wachstumsprozesse nicht mehr erlauben bzw. von ihnen nicht mehr toleriert werden können. Diese Eigenschaften machen extremophile Mikroorganismen zu interessanten und vielversprechenden Forschungsobjekten. Struktur und Funktion extremophiler Mikroorganismenzellen bzw. ihrer Bestandteile (besonders Membranen und Enzyme) als Grundlage der Bindung ihrer Wachstumsprozesse an extreme Milieubedingungen (z. B. Temperaturen über 100°C oder NaCl-Konzentrationen über 20%) sind als außergewöhnliche Eigenschaften lebender Systeme Gegenstand der biologischen, speziell der molekularbiologischen Grundlagenforschung. Darüber hinaus werden neue und effektive biotechnologische Anwendungsmöglichkeiten für extremophile Mikroorganismen und ihre Enzyme erwartet.

Im vorliegenden Buch wird von 19 international bekannten Autoren, die über langjährige Erfahrung bei der Erforschung extremophiler Mikroorganismen verfügen, ein umfassender Überblick über den aktuellen Kenntnisstand zu den unterschiedlichen Gruppen echt extremophiler Mikroorganismen (thermophile, psychrophile, halophile, acido- und alkaliphile sowie strikt anaerobe Archae- und Eubakterien, Tiefseebakterien) und zu einigen Mikroorganismengruppen mit interessanten Resistenzen bzw. Toleranzen (gegen Strahlungen oder Schwermetalle) gegeben. Die Darstellungen umfassen sowohl fundamentale biologische Angaben (morphologisch-strukturelle, physiologische, biochemische, ökologische, besonders aber molekularbiologisch-genetische Charakteristika) einer Vielzahl extremophiler Mikroorganismen unterschiedlichster taxonomischer Stellung als auch ausführliche Diskussionen der vielfältigen Möglichkeiten einer biotechnologischen Nutzung dieser Organismengruppe (und besonders ihrer Enzyme), beispielsweise zur Gewinnung spezifischer Produkte oder zur Lösung spezieller Probleme im Umweltschutz.

Als komplettes Nachschlagewerk für eine Mikroorganismengruppe mit erheblicher Bedeutung für unterschiedlichste Richtungen sowohl der Grundlagen- als auch der angewandten Forschung ist dieses Buch den auf diesen Gebieten tätigen Spezialisten (Mikrobiologen, Physiologen, Biochemiker, Molekularbiologen, Genetikern, Biotechnologen und Fachleuten des Umweltschutzes) wärmstens zu empfehlen; es sollte in keiner Bibliothek entsprechender Institutionen fehlen.

L. WÜNSCHE, LEIPZIG