

Využití n-alkánů C₁₀ až C₁₃ kvasinkami

JOHANNA RYBÁŘOVÁ, ALENA ČEJKOVÁ, VÚKPS, Praha

582.282.232
547.217
663.1

Úvod

Schopnost kvasinek využívat uhlovodíků jako jedi-
ných zdrojů uhlíku a energie popsal Tauson
(1939) u kvasinek z rodů *Debaryomyces*, *Endomy-
copsis*, *Hansenula*, *Monilia* a *Torulopsis* při kultiv-
vaci na parafínu. Just a spol. (1951 a), kteří se
poprvé zajímali o možnost využití uhlovodíkových
substrátů pro tvorbu biomasy, izolovali z půdy tři
kmeny kvasinek, z nichž nejlepší výtěžky poskyto-
vala *Candida lipolytica*; tento kmen využíval pro
růst dodekan, ale rostl dobře na hexadekanu a
oktadekanu a na syntetickém parafínovém oleji
(obsahujícím n-alkány C₁₅ až C₁₃). Markovetz a
Kallio (1934) uvedli v předběžném sdělení schop-
nost některých kvasinek asimilovat n-alkány C₁₀,
C₁₂, C₁₄, C₁₆ a C₁₈ a odpovídající n-alkeny. Roz-
sáhlou studii o asimilaci jednotlivých n-alkánů
s počtem atomů uhlíku 9 až 18 a některých n-alkenů
s 56 kmeny kvasinek rodu *Candida* provedli
Klug a Markovetz (1967). Kmeny *Candida lipolytica*
a *Candida parapsilosis* rostly velmi dobře na všech
n-alkánech C₉ až C₁₈.

Miller a spol. (1964) studovali růst kvasinky
Candida intermedia, izolované z půdy, na jednotli-
vých n-alkánech a zjistili, že výtěžnost sušiny bio-
masy stoupala s rostoucí délkou molekuly uhlo-
vodíků C₁₂, C₁₄, C₁₆ a C₁₈. Podobná závislost je uve-
děna v práci Ijerusalimského a Skrjabina (1965),
kteří zaznamenali klesající schopnost asimilace
uhlovodíků od C₂₂ k C₁₁ při kultivaci kvasinek.

Candida tropicalis, izolovaná Takahashim a spol.
(1965) z půdy nasycené olejem, produkovala nej-
více biomasy na uhlovodíku C₁₉ (okolo 80 %),
dobře rostla na C₁₅ až C₁₈; málo využívala C₁₂ až
C₁₄, C₂₀ a C₂₂ a nerostla vůbec na uhlovodících
C₅ až C₁₁. Ijerusalimskij a spol. (1965) izolovali
z naftových půd kmeny rodu *Candida* a *Torulopsis*,
které dobře rostly na n-alkánech C₁₃ až C₂₄. Podob-
ně Takeda a spol. (1965) uvádějí u rodů *Candida*
a *Torulopsis* dobrou asimilaci n-alkánů C₁₀ až C₂₂
s přednostním využíváním C₁₄, C₁₅ a C₁₆.

Z uvedených údajů je zřejmé, že pro tvorbu
biomasy jsou kvasinkami lépe využívány vyšší uhlo-
vodíky, s počtem atomů uhlíků C₁₄ až C₁₈. Přesto
někteří autoři zaznamenali dobrý růst kvasinek
i na uhlovodících nižších než tetradekan. Arima
a spol. (1965) izolovali kmen kvasinky podobný
Pichii, který neasimiloval uhlovodíky nižší než C₉,
ale rostl dobře na C₁₀ až C₁₃. Dobrou asimilaci
uhlovodíků dekanu a hexadekanu kvasinkou *Candi-
da lipolytica* stanovili Schedová a Bos (1966).

V předložené práci byla sledována schopnost
využití uhlovodíkového substrátu obsahujícího niž-
ší n-alkány (C₁₀ až C₁₃) pro produkci biomasy se
40 kmeny kvasinek.

Experimentální část

Kultury — bylo použito 40 kmenů kvasinek, ze
sbírky VÚKPS Praha, asimilujících uhlovodí-
ky, převážně neidentifikovaných.

Substrát — směs n-alkánů C₁₀ až C₁₃ složení:
2,8 % dekanu, 48,3 % undekanu, 34,5 % do-
dekanu a 13,3 % tridekanu; spec. hmota
0,764.

Živné půdy — základem byla modifikovaná půda
podle Champagnata a Filosa (1962):

3,0 g (NH₄)₂ SO₄; 7,0 g KH₂ PO₄; 0,2 g Mg SO₄.
7 H₂O; 0,1 g NaCl; 0,1 g kvasn. autolyzátu
v 1 litru vodovodní vody; pH — 5,0 až 5,5
s H₂SO₄.

a) Pevné půdy obsahovaly zvýšené množství
kvasničného autolyzátu — 10 g v 1 litru
půdy a 25 g agaru v 1 litru půdy. Byly
plněny po 100 ml do Erlenmayerových
baněk obsahu 300 ml.

b) Tekuté půdy byly plněny po 50 ml do
500 ml varných baněk, opatřených záře-
zy ve stěně ke zvýšení přestupu kyslíku.

Všechny půdy byly před přidáním uhlovodíko-
vého substrátu sterilovány 45 minut při 1,2 at.
Uhlovodíky byly na povrch agarových půd pipe-
továny v množství asi 0,25 ml a do tekutých v množ-
ství 0,5 ml.

Příprava inokula a vlastní kultivace — inokulum
bylo připravováno přeočkováním kvasinek ze
sbírkové kultury na pevnou půdu a kultivaci
48 hodin v termostatu při 30 °C. Narostlé
kvasinky byly smyty s povrchu agaru 50 ml
sterilní vodovodní vody a 5 ml takto vzniklé
suspenze bylo použito k inokulaci každé
baňky. Množství inokula činilo 0,050 až
0,075 g sušiny v 50 ml půdy v závislosti na
nárůstu jednotlivých kmenů. Baňky byly
umístěny na rotační třepačce 48 hodin při
30 °C; přestup kyslíku byl 196 mM O₂/l.h
při 240 ot/min.

Sušina kvasinek — byla stanovena vázkově po pro-
mytí kvasničné suspenze v kelímku S₄ hor-
kou vodou (Rybářová, Čejková 1968).

Výsledky a diskuse

Ke zhodnocení schopnosti využívat nižších uhlo-
vodíků pro tvorbu biomasy bylo testováno 40 kme-
nů ze sbírky kvasinek asimilujících uhlovodíky.
Testy byly provedeny 48hodinovou kultivací kvasi-
nek v minerální půdě s 1 % obj. směsi n-alkánů
C₁₀ až C₁₃, vždy ve třech paralelních baňkách na

rotační třepače. Po skončení kultivace byla stanovena sušina buněk, pH a kultury byly mikroskopicky hodnoceny. Výsledky analýz jsou uvedeny v tabulce 1. Růst kvasinek, vyjádřený přírůstkem

Tabulka 1

Tvorba biomasy kvasinek při kultivaci v prostředí se směsí uhlovodíků C_{10} až C_{13} . Výťažnost je vyjádřena na vnesený substrát

Kmen č.	Pří- růs- tek suši- ny [g/100 ml]	Vý- těž- nost [%]	Morfologie buněk
7-3*	0,15	20,3	oválné až protáhlé buňky $2,7 \times 5,4$ až $8,1 \mu\text{m}$, nevyrovnané
60	0,15	20,3	kulaté, velmi drobné buňky, menší než $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$
50*	0,17	23,0	nevyrovnaná kultura, převládají menší buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$
58*	0,18	24,4	kulaté buňky $3,0 \times 3,0 \mu\text{m}$, ojedinele pseudomycelium
46	0,21	28,4	nevyrovnaná kultura ve velikosti, oválné až protáhlé buňky
54	0,22	29,8	kulaté buňky nepravidelné velikosti, průměrně $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$, jednotlivé i po 2
4-3	0,23	31,1	kulaté buňky, nevyrovnané ve velikosti, pseudomycelium
55	0,23	31,1	téměř kulaté buňky $2,7$ až $5,4 \times 2,7$ až $5,4 \mu\text{m}$
28-7	0,24	32,4	velmi nevyrovnaná kultura ve tvaru a velikosti
44*	0,24	32,4	nevyrovnaná kultura, buňky samostatné i v řetízích
77	0,24	32,4	oválné až kulaté buňky, menší než $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$
21-4	0,27	36,5	velmi nevyrovnané buňky ve tvaru i velikosti
64	0,31	41,9	téměř kulaté buňky, $2,7$ až $4,0 \times 2,7$ až $3,4 \mu\text{m}$, spojeny po 2 až 3
102	0,32	43,2	kulaté buňky $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$
22-4	0,33	44,7	oválné buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, nevyrovnané ve tvaru a velikosti
2-2	0,34	45,9	oválné až kulaté buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, nevyrovnané ve velikosti
65	0,34	45,9	oválné až kulaté buňky, menší než $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$
80	0,34	45,9	oválné buňky, $2,7 \times 4,5 \mu\text{m}$ a menší
84	0,34	45,9	dto
57*	0,35	47,3	oválné buňky $3,5 \times 5,4$ až $8 \mu\text{m}$, ojedinele krátké řetízky

Kmen č.	Pří- růs- tek suši- ny [g/100 ml]	Vý- těž- nost [%]	Morfologie buněk
6-1**	0,36	48,7	kulaté až oválné buňky $2,7$ až $4 \times 5,4$ až $8 \mu\text{m}$, nevyrovnané
1-2	0,37	50,0	oválné buňky $2,7$ až $3,5 \times 5,4$ až $7 \mu\text{m}$, ojedinele v krátkých řetízích
4-1*	0,37	50,0	oválné buňky $2,7$ až $3,5 \times 5,4$ až $8 \mu\text{m}$, tvoří řetízky, pseudomycelium
8-2	0,37	50,0	oválné buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, tvoří řetízky po 2 až 3, ojedinele pseudomycelium
63*	0,39	52,8	oválné buňky nepravidelné velikosti, průměrně $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, rozvětvené řetízky
19-5	0,40	54,1	oválné buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, tvoří řetízky
66	0,40	54,1	oválné až kulaté buňky průměrně $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, jednotlivé i po 2 až 3
20-2	0,41	55,5	nepravidelné buňky, převládají oválné $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, tvoří řetízky po 2 až 3
28-1	0,42	56,8	nepravidelné buňky, převládají oválné $3,5 \times 5,8$ až $7,5 \mu\text{m}$, rozvětvené řetízky
68	0,42	56,8	oválné až kulaté buňky, menší než $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$
19-3*	0,42	56,8	oválné buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$
24-3*	0,42	56,8	vyrovnaná kultura, oválné buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, jednotlivé i řetízky po 2 až 3
95***	0,42	56,8	kulaté buňky 4 až 6×4 až $6 \mu\text{m}$
83	0,43	58,1	oválné buňky $2,7 \times 4,5 \mu\text{m}$ a menší
12-2	0,44	59,5	vyrovnaná kultura, oválné buňky $2,7 \times 5,4$ až $6,5 \mu\text{m}$
81	0,45	60,8	kulaté buňky $2,7 \times 2,7 \mu\text{m}$
52	0,46	62,2	pseudomycelium
27-3	0,47	63,6	oválné až kulaté buňky $2,7 \times 5,4 \mu\text{m}$, pseudomycelium
45	0,47	63,6	oválné až kulaté buňky $2,7$ až $4 \times 5,4$ až $7 \mu\text{m}$, ojedinele řetízky
98	0,48	64,8	oválné až protáhlé buňky $2,7$ až $3,5 \times 5,4$ až $10 \mu\text{m}$, rozvětvené řetízky a pseudomycelium

Pozn.: * *Candida lipolytica*

** *Candida parapsilosis*

*** *Pichia vanriji*

Neoznačené kmeny nejsou identifikované.

sušiny, se pohyboval od 0,15 do 0,48 g sušiny na 100 ml média. Výtěžnost (vyjádřenou v hmotn. procentech na vnesený substrát) 50,0 až 59,5 % vykazalo 19 kmenů a u 5 kmenů (č. 81, 52, 27-3, 45 a 98) dosáhla hodnota výtěžnosti 60,8 až 64,8 %.

Sbírkové kultury použité v této práci poskytovaly při kultivaci ve stejném minerálním prostředí s vyššími uhlovodíky výtěžnost od 19,8 do 65,3 % (nepublikováno). V tomto případě uhlovodíkový substrát obsahoval 97,5 % n-alkánů C₁₁ až C₂₃, s převládajícím obsahem C₁₅ až C₁₉ (70 %). Porovnáním výtěžností dosažených jednotlivými kmeny při kultivaci na těchto dvou různých substrátech lze kultury kvasinek rozdělit do tří skupin (tabulka 2.):

1. skupina zahrnuje kmeny, které rostly slabě na substrátu s n-alkány C₁₀ až C₁₃ a na substrátu s vyššími uhlovodíky poskytly dobré výtěžky.
2. skupina kmenů dávala vysoké výtěžky na nižších n-alkánech, na druhém substrátu byla tvorba biomasy nízká.
3. skupina obsahuje kmeny dávající přibližně stejné výtěžnosti na obou substrátech.

Testované kmeny kvasinek mají tedy různé spektrum uhlovodíků, kterých jsou schopny využívat pro tvorbu biomasy. Kmeny obsažené v 1., resp. 2. skupině vykazují úzké spektrum, které zahrnuje vyšší, resp. nižší n-alkány. Ve třetí skupině jsou kmeny nedávající přednost žádnému typu z obou substrátů a většina kultur poskytuje dobrou produkci biomasy (výtěžnost nad 40 %).

Hodnocením výsledků kultivace z hlediska vhodnosti použitých substrátů vyplývá, že za daných kultivačních podmínek je pro sledované kmeny vhodnější surovina obsahující nižší n-alkány. Z 23 kmenů rostlo pouze 6 kmenů lépe na směsi uhlovodíků se 70% obsahem n-alkanů C₁₅ až C₁₉ (dosažená průměrná výtěžnost byla 55,9 %) a 19 kmenů poskytlo vysoký růst na nižších n-alkánech, přičemž průměrná výtěžnost byla 56,3 %. Se 17 kmeny, které využívaly oba substráty přibližně stejně, bylo na n-alkánech C₁₀ až C₁₃ dosaženo o něco vyšší průměrné výtěžnosti (48,4 %) než na druhém substrátu (průměrná výtěžnost 46,6 %).

Výtěžnosti nad 60 %, které vykazaly na substrátu s n-alkány C₁₀ až C₁₃ nejlepší ze zkoušených kmenů kvasinek, jsou vyšší, než uvádí Arima a spol. (1965) při růstu kvasinky podobné *Pichii* v prostředí s jednotlivými n-alkány: n-dekan poskytuje výtěžnost 56,4 %, n-undekan 43,6 %, n-dodekan 43,4 % a n-tridekan 47,5 %.

Přestože většina prací, jak bylo řečeno na začátku, uvádí o něco horší asimilovatelnost nižších uhlovodíků, v našem případě byly nižší uhlovodíky vhodným substrátem pro tvorbu buněčné hmoty kvasinek. Na tuto skutečnost měla pravděpodobně vliv i vysoká čistota daného substrátu. Směs nižších uhlovodíků obsahovala 100 % n-alkánů C₁₀ až C₁₃, kdežto obsah n-alkánů u druhé suroviny činil 97,5 %; 0,5 % byly aromáty a 2 % tvořily neurčené látky. Tyto příměsi mohou obsahovat rozvětvené a nenasycené uhlovodíky a spolu s aromáty mohou

Tabulka 2

Srovnání výtěžností biomasy kvasinek, dosažených při kultivaci v prostředí s dvěma různými uhlovodíkovými substráty. Výtěžnost je vyjádřena na vnesený substrát

Skupina č.	Kmen č.	Výtěžnost [%]	
		n-alkány C ₁₀ až C ₁₃	n-alkány C ₁₅ až C ₁₉
1	7—3*	20,3	65,3
	60	20,3	58,3
	58*	24,4	54,8
	46	28,4	47,3
	28—7	32,4	59,5
	12—4	36,5	50,5
2	64	41,9	29,8
	84	45,9	30,2
	6—1**	48,7	19,8
	1—2	50,0	37,3
	4—1*	50,0	34,6
	63*	52,8	28,4
	66	54,1	32,9
	20—2	55,5	38,9
	28—1	56,8	44,1
	68	56,8	38,2
	83	58,1	34,6
	12—2	59,5	36,2
	81	60,8	45,3
	52	62,2	40,0
	27—3	63,6	37,5
	45	63,6	45,1
	98	64,8	39,5
3	50*	23,0	13,5
	54	29,8	35,9
	4—3	31,1	38,9
	55	31,1	37,9
	44*	32,4	18,8
	77	32,4	33,8
	102	43,2	44,2
	22—4	44,7	41,0
	2—2	45,9	37,9
	65	45,9	36,8
	80	45,9	36,7
	57*	47,3	54,9
	8—2	50,0	49,5
	19—5	54,1	61,7
	24—3*	56,8	49,7
	95***	56,8	61,3
	19—3*	56,8	56,2

Pozn.: * *Candida lipolytica*

** *Candida parapsilosis*

*** *Pichia vanriji*

Neoznačené kmeny nejsou identifikované.

být příčinou nižšího růstu kvasinek. Menší využití jiných uhlovodíků než n-alkánů bylo popsáno u kvasinek i jiných mikroorganismů (např. Zo Bell 1950, Just a spol. 1951 b, Humphrey 1967).

Závěr

Směs n-alkánů obsahující uhlovodíky n-dekan, n-undekan, n-dodekan a n-tridekan byla použita jako substrát pro kultivaci 40 kmenů kvasinek. Vysokou výtěžnost biomasy, 60,8 až 64,8 %, poskytlo 5 kmenů kvasinek, 19 kmenů dalo výtěžnost 50 až 59 % a u ostatních kmenů se výtěžnost pohybovala od 20,3 do 48,7 %. Uvedené hodnoty výtěžnosti byly porovnány s hodnotami, které poskytly stejné kmeny kvasinek při kultivaci v prostředí s vyššími uhlovodíky; tento uhlovodíkový substrát obsahoval

val 97,5 % n-alkánů se 70% zastoupením C₁₅ až C₁₉. Kmeny kvasinek byly rozděleny do tří skupin, z nichž každá skupina kultur se vyznačovala jiným vztahem k oběma použitým substrátům. Bylo zjištěno, že surovina obsahující nižší uhlovodíky od C₁₀ až C₁₃ je vhodným substrátem pro tvorbu biomasy s vybranými kmeny kvasinek.

Literatura

- [1] Arima, K. - Ogino, S. - Yano, K. - Tamura, G.: Studies on Utilization of Hydrocarbons by Yeasts. = „Agr. Biol. Chem.“, 29, 11, 1965; 1004
- [2] Humphrey, A. E.: A Critical Review of Hydrocarbon Fermentation and their Industrial Utilization. = „Biotech., Bioeng.“ IX, 1967; 3
- [3] Champagnat, A. - Filosa, J.: Procédé de production des levures à partir de fractions du pétrole. = Franc. pat. 1,297619, 1962
- [4] Ijerusalimskij, N. D. - Andrejeva, E. A. - Lirova, S. A. - Jermakova, I. T.: Okislenie uglevodorodov drožžami. = „Prikl. bioch. mikrobiol.“, 6, 1965: 601
- [5] Ijerusalimskij, N. D. - Skrjabin, G. K.: Problemy mikrobiologii uglevodorodov. = „Izvestija ANSSSR, serija biologičeskaja“, 1, 1965: 53
- [6] Just, F. - Schnabel, W. - Ullmann, S.: Submerse Züchtung von kohlenwasserstoffzehrenden Hefen und Bakterien. = „Die Brauerei, Wissenschaftliche Beilage“, 4, 1951: 71 (a)
- [7] Just, F. - Schnabel, W. - Ullmann, S.: Submerse Züchtung von kohlenwasserstoffzehrenden Hefen und Bakterien. = „Die Brauerei, Wissenschaftliche Beilage“, 4, 1951: 100 (b)
- [8] Klug, M. J. - Markovetz, A. J.: Degradation of Hydrocarbons by Members of the Genus Candida. I Hydrocarbon Assimilation. = „Appl. Microbiol.“, 15, 1967: 690
- [9] Markovetz, A. J. - Kallio, R. E.: Assimilation of Alkanes and Alkenes by Yeasts. = „J. Bacter.“, 87, 1964: 938
- [10] Miller, T. L. - Lie, S. - Johnson, M. J.: Growth of a Yeast of Normal Alkanes. = „Biotechn. Bioeng.“, 6, 1964: 299
- [11] Rybářová, J. - Čejková, A.: Metoda stanovení sušiny biomasy kvasinek kultivovaných v prostředí s uhlovodíky. = „Kvasný průmysl“, 14, 1968: 38
- [12] Scheda, R. - Bos, P.: Hydrocarbons as Substrates for Yeasts. = „Nature“, 211, 1966: 660
- [13] Takahashi, J. - Kawabata, Y. - Yamada, K.: Studies on the Utilization of Hydrocarbons by Microorganisms. V Screening of Yeasts for Ceel Production from Hydrocarbons and their RNA Contents. = „Agr. Biol. Chem.“, 29, 1965: 292
- [14] Takeda, I. - Iguchi, T. - Kawamura, T. - Horiguchi, S. - Hayakawa, S. - Senoh, S.: Production of Microbial Ceels from Hydrocarbons. = „Agr. Biol. Chem.“, 29, 1965: 793
- [15] Tauson, T. A.: Okislenie parafina drožževymi i drožžepodobnymi organizmami. = „Mikrobiologija“, 8, 1939: 828
- [16] Zobell, C. E.: Assimilation of Hydrocarbons by Microorganisms. = „Adv. Enzym.“ 10, 1950: 443

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ n-АЛКАНОВ C₁₀ - C₁₃ ДРОЖЖАМИ

Смесь n-алканов, в числе которых были n-декан, n-ундекан, n-додекан и n-тридекан, служила в качестве субстрата для культивирования 40 штаммов дрожжей. Пять штаммов дали высокий выход биологической массы, т. е. от 60,8 до 64,8 %, у дальнейших девятнадцати штаммов был выход биологической массы в пределах от 50 до 59 %. Остальные из изучаемых штаммов дали от 20,3 до 48,7 % массы. Указанные выходы сравнивались с выходами, полученными при культивировании тех же штаммов в питательной среде, состоящей из более высоких углеводородов. В субстрате было 97,5 % n-алканов, при чем на долю алканов C₁₅ - C₁₉ приходилось 70 %. По критерию степени использования двух указанных субстратов штаммы были разбиты на три группы. Результаты экспериментального изучения показали, что среда содержащая углеводороды C₁₀ - C₁₃ является — при условии применения соответствующих штаммов дрожжей — удовлетворительным субстратом для получения биологической массы.

ASSIMILATION OF C₁₀-C₁₃ N-ALCANES BY YEAST

The mixture of n-alkanes consisting of n-decane, n-undecane, n-dodecane and n-tridecane has been used as a substrate for cultivating 40 selected strains of yeast. Five strains gave high yields of biological substance ranging from 60,8 to 64,8 %, nineteen strains produced from 50 to 59 %, whereas the rest failed to produce more than 20,3—48,7 %. The specified yields were compared with yields produced by the same strains cultivated in a hydrocarbon substrate containing higher hydrocarbons, viz. 97,5 % of n-alkanes of which 70 % were represented by C₁₅-C₁₉ group. Using as a criterion the behaviour of various strains in two substrates all studied strains have been classified and divided in three groups. The results of experiments confirm that a substrate containing lower hydrocarbons ranging from C₁₀ to C₁₃ is a good culture medium, in which certain strains of yeast can give high yields of biological substance.

AUSNÜTZUNG DER n-ALKANE C₁₀ BIS C₁₃ DURCH HEFEN

Ein n-Alkane-Gemisch, die Kohlenwasserstoffe n-Dekan, n-Undekan, n-Dodekan und n-Tridekan enthaltend, wurde als Substrat zur Kultivierung von 40 Hefestämmen angewendet. Bei 5 von den geprüften Stämmen wurde eine hohe Biomasseausbeute von 60,8—64,8 % erzielt, 19 Stämme ergaben eine Ausbeute von 50 bis 59 % und bei den übrigen Stämmen bewegte sich die Ausbeute zwischen den Werten 20,3 und 48,7 %. Die angeführten Ausbeutewerte wurden mit den Ergebnissen verglichen, welche die gleichen Hefestämme bei der Kultivierung in einem Medium mit höheren Kohlenwasserstoffen erzielten; dieses Kohlenwasserstoffsubstrat enthielt 97,5 % n-Alkane mit einem 70% Anteil der n-Alkane C₁₅—C₁₉. Die Hefestämme wurden in drei Gruppen eingeteilt, wobei jede Kulturengruppe durch ein unterschiedliches Verhältnis zu den beiden benützten Substraten gekennzeichnet war. Es wurde festgestellt, dass der Rohstoff, der die niedrigeren Kohlenwasserstoffe von C₁₀ bis C₁₃ enthielt, ein geeignetes Substrat für die Biomasseproduktion mit den ausgewählten Stämmen ist.