

ULTRASTRUKTUREN IM ZELLKERN DER BÄCKERHEFE

HANS MOOR. From the Laboratorium für Elektronenmikroskopie, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Schweiz

Schon seit längerer Zeit befasst sich die Forschergruppe, der auch der Autor angehört, mit der Untersuchung der Beeinflussung von Organellstrukturen in Hefe durch verschiedene Kulturbedingungen. Insbesondere interessieren uns die Veränderungen beim Übergang von totaler Anaerobiose zu aeroben Bedingungen. Die durch entsprechende Versuchsanordnung erzielte gute Synchronisierung der Kulturen erlaubte dabei auch eine Darstellung von Kernstrukturen und ihrer Veränderung im Verlaufe der Kernteilung. Im Laufe dieser Arbeiten haben wir Faserstrukturen im Kern gefunden die mit gewissen am gleichen Ort von Robinow und Marak (1) beschriebenen Gebilden gut übereinstimmen. Unsere vorläufige Mitteilung mag einerseits als Bestätigung und Erweiterung der Befunde von Robinow und Marak (1) dienen und andererseits den Beweis erbringen, dass mit Hilfe der Gefrierätzung (2) nicht nur lamelläre sondern auch fibrilläre, respektive, tubuläre Strukturen erfasst werden können.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im Ruhekern können vor allem zwei Strukturen erkannt werden, eine halbmondförmige Verdichtung des Karyoplasmas und ein kristallartiger Körper (Abb. 1). Der Halbmond schmiegt sich direkt an die Kernhülle an; er mag ungefähr $\frac{1}{8}$ des Kernvolumens ausfüllen und besteht aus feingranulärem Material. Das Kristalloid ist als kurze Säule mit einer Länge von etwa 1μ ausgebildet und zeigt oft einen sechseckigen Querschnitt mit einem Durchmesser von rund $0,5 \mu$. Bei einsetzender Sprossung und nachfolgender Kernteilung kann ein länger und dünner Werden

des Kristalloids beobachtet werden (Abb. 2). Es entsteht eine sehr dichte, gerade Faser, in der fibrilläre Untereinheiten zutage treten; sie kann eine Länge von mindestens 4μ erreichen und dabei den Kern (durchschnittlicher Durchmesser ungefähr $2,5 \mu$) ganz erheblich strecken. Das Kristalloid, respektive auch die Faser tritt meistens in unmittelbarer Nachbarschaft zur Kernhülle auf. Neben der Faser taucht regelmässig ein spindelartiges Fibrillensystem auf, dessen Pole an gegenüberliegenden Punkten der Kernhülle liegen (Abb. 4). Die Pole der Spindel sind als Platten oder Halbkugeln mit einem Durchmesser von rund 2000 \AA ausgebildet und liegen in vergrösserte Poren der Kernhülle eingesenkt. Von diesen Polen strahlen eine grössere Zahl von Fibrillen (ca. 15) ins Karyoplasma aus; hin und wieder können auch einige wenige, sehr kurze Fibrillen in der entgegengesetzten Richtung ins Zytoplasma ziehend beobachtet werden. Der Zellkern erscheint an der Stelle der gegenüberliegenden Pole des Spindelapparates sehr oft eingeschnürt (Abb. 3 and 4).

Dieser kurze Ausschnitt aus unseren Beobachtungen wurde hauptsächlich im Hinblick auf die Untersuchungen von Robinow und Marak zusammengestellt. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass der von den erwähnten Autoren auf Grund ihrer elektronenmikroskopischen Befunde beschriebene *fiber apparatus*, bestehend aus den zwei *centriolar plaques* und den *filaments* bis in viele Einzelheiten (die wir hier nicht wiederholen wollen) mit unserem "spindelartigen Fibrillensystem" übereinstimmt, sowohl was die Struktur als auch was die Veränderungen im Verlaufe der Kernteilung betrifft. Dasselbe gilt für den *crescent*,

den wir als halbmondförmige Verdichtung des Karyoplasmas beschrieben haben. Ein Kristalloid, aus dem eine Faser entsteht, wird jedoch von Robinow und Marak nicht erwähnt. Es ist hingegen erstaunlich, wie gut das Erscheinungsbild dieser Strukturen mit den lichtmikroskopischen Befunden der beiden Autoren übereinstimmt, die im Ruhekern neben dem Halbmond ein prägnantes, kurzer Stäbchen beobachtet haben, aus dem eine deutlich sichtbare Faser entsteht, deren Länge 4 bis 5 μ beträgt. Diese weitgehenden Übereinstimmungen zusammen mit unseren neuen Beobachtungen deuten darauf hin, dass die von Robinow und Marak licht- und elektronenoptisch dargestellten Strukturen möglicherweise nicht identisch sind, dass also neben dem Spindelapparat (dessen Identität mit demjenigen der Zellen höherer Organismen zu beweisen ist) noch ein weiterer, faserartiger Fibrillenapparat besteht. Bei der Kernteilung, d.h. beim Übertritt der einen Kernhälfte in den Spross, dürfte der Faser eine sehr aktive Rolle zukommen, während der Spindelapparat, wie auch Robinow und Marak meinen, völlig passiv mitgezogen wird.

Themen wie z.B. der vollständige Ablauf einer Kernteilung, der Feinbau der verschiedenen Fibrillensysteme und ihr struktureller Zusammenhang (der auch das identische Verhalten gegenüber Farbstoffen erklären wird), sollen an anderer Stelle näher und ausführlicher behandelt werden.

SUMMARY

Changes in the fine structure of baking yeast which accompany the transition from complete anaerobiosis to aerobiosis have been investigated by the method of freeze-etching. Return to aerobiosis

achieved good synchronization and facilitated a detailed study of the process of nuclear division. Structures have been seen which correspond to the fiber, composed of a bundle of cytotubules extending between centriolar plaques, which has been described by Robinow and Marak (1). In addition, another, compact, straight fiber composed of fibrillar subunits has been discovered close to, but not connected with, the nuclear envelope, which apparently grows out from a short crystalloid hexagonal prism and becomes long and thin during nuclear division. This dense fiber stretches the dividing nucleus whereas the bundle of tubules between centriolar plaques is passively dragged along, which was also the impression gained by Robinow and Marak. The dense crystalloid fiber is not mentioned by Robinow and Marak but reasons are given for thinking that the intranuclear bead and rodlet which they stained with acid fuchsin and equated with the fiber apparatus of their electron micrographs correspond in reality to the short crystalloid prism and the stout fiber which are the most conspicuous intranuclear structures in frozen-etched specimens from our cultures.

Es ist mir ein ganz besonderes Anliegen, Herrn Dr. C. Robinow, für die freundliche Anregung und bereitwillige Förderung dieser Arbeit zu danken. Die Untersuchungen wurden ausserdem durch den Schweizerischen Nationalfonds unterstützt.

Eingegangen am 20 November 1965.

LITERATUR

1. ROBINOW, C. F., and MARAK, J., *J. Cell Biol.*, 1966, 28, 129.
2. MOOR, H. and MÜHLENTHALER, K., *J. Cell Biol.*, 1963, 17, 609.

ABBILDUNG 1 Ruhekern der Bäckerhefe in der anaeroben, stationären Phase: *H*, Halbmond; *K*, Kristalloid; *F*, Fibrillen des Spindelapparates; *M*, Kernhülle. $\times 28,000$.

ABBILDUNG 2 Faser in einem Kern aus einer zur Sprossung ansetzenden Hefezelle: *F*, Faser. $\times 33,000$.

ABBILDUNG 3 Beginnende Teilung des Zellkernes in Oberflächenansicht: In der Einschnürung, eingesenkt in die Kernhülle ist ein Pol (*P*) des Spindelapparates sichtbar. $\times 19,000$.

ABBILDUNG 4 Beginnende Kernteilung im Schnitt: Von den beiden, in vergrösserte Poren der Kernhülle eingesenkten Polen des Spindelapparates strahlen die Fibrillen in den zentralen Bereich des Karyoplasmas aus (*P—P*). Die Fibrillen sind als dünne Röhren in der Art der Mikrotubuli ausgebildet. $\times 42,000$.

