

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 639.3

## BIOTECHNOLOGISCHE VERFAHREN IN DER AQUAKULTUR

**M.I. LESYUK<sup>1</sup>, V.N. BOSAK<sup>2</sup>, T.V. KOZLOVA<sup>3</sup>, A.I. KOZLOV<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Fischereiwirtschaft «Palesse»,  
Pinsk, Belarus*

<sup>2</sup>*Weißrussische Staatliche Technologische Universität,  
Minsk, Belarus*

<sup>3</sup>*Palesky Staatliche Universität,  
Pinsk, Belarus*

**Einführung.** Die Ozeane stellen seit Jahrtausenden eine Quelle für Nahrung und andere natürliche Ressourcen für den Menschen dar. Das explosive Anwachsen der Weltbevölkerung, die Überfischung von Fisch- und anderen Meerestierbeständen sowie sich verschlechternde Umweltbedingungen haben dazu geführt, dass die Fischereiindustrien einiger Länder zusammengebrochen sind. Dies übt einen hohen Druck auf viele Arten aus und strapaziert die Ressourcen, die das Meer bietet. Obwohl man durch wissenschaftliche Erforschung vieles über die Biologie des Meeres gelernt hat, harret vermutlich die große Mehrzahl der Meeresbewohner – insbesondere mikroskopische Arten – noch der Entdeckung und Identifizierung. Es wurde geschätzt, dass mehr als 80 Prozent aller Lebewesen der Erde in aquatischen Ökosystemen leben [1-4].

Der verständliche Wunsch, den potenziellen Reichtum des größeren Teils der Erdoberfläche nutzbar zu machen, in Verbindung mit weiter zunehmender Weltbevölkerung, den medizinischen Bedürfnissen der Menschen und Sorgen um den Zustand der Umwelt unseres Planeten, haben die Hydrowissenschaften als neues, sich entwickelndes Gebiet der biotechnologischen Forschung etabliert. Aquatische Ökosysteme bergen in sich vielleicht die Antworten auf eine Vielzahl globaler Probleme. In den USA werden jährlich weniger als 50 Millionen Dollar für Forschung und Entwicklung auf dem Feld der aquatischen Biotechnologie aufgewendet. Im Vergleich dazu wendet Japan zwischen 900 Millionen und einer Milliarde US-Dollar pro Jahr für diese Aktivitäten auf. Die erfolgreichen Forschungsaktivitäten asiatischer Länder, die in Grundlagenforschung auf dem Gebiet der aquatischen Biotechnologie investiert haben, und der finanzielle Erfolg ihrer Produkte haben andere Länder dazu angeregt, ebenfalls eine beträchtliche Menge an Zeit und Ressourcen auf dieses Gebiet zu konzentrieren. Wird einer Firma ein Patent auf eine Anwendung der aquatischen Biotechnologie erteilt, so beträgt der durchschnittliche Wertanstieg ihrer Börsennotierung ungefähr 800 000 US-Dollar.

In der Vereinigten Staaten von Amerika haben die Nationale Wissenschaftsstiftung (NSF) und das Nationale Meeresförderungsprogramm – das küstennahe Programme an Universitäten und anderen Hochschulen, Wissenschaftler, Lehrer und Studenten im Bereich der Meeresforschung unterstützt und anleitet – gemeinsam viele Initiativen entwickelt, um die aquatische Biotechnologie zu fördern.

Im Speziellen sind mehrerer Forschungsschwerpunkte festgelegt worden, um die schönbar grenzenlosen Möglichkeiten der Nutzbarmachung aquatischer Lebewesen zu erforschen. Zu diesen Schwerpunkten gehören:

- steigerung des Weltnahrungsmittelangebots,
- wiederherstellung und Schutz mariner Ökosysteme,
- identifizierung neuartiger Verbindungen zum Nutzen der menschlichen Gesundheit und medizinischer Behandlungen,
- verbesserte Sicherheit und Qualität von Nahrungsmitteln aus dem Meer,
- das Aufspüren und Entwickeln neuer Produkte mit Anwendungen in der chemischen Industrie,
- die Suche nach neuen Wegen zur Verfolgung und Behandlung von Krankheiten,
- die Verbesserung der Kenntnisse zu biologischen und biogeochemischen Vorgängen in den Weltmeeren.

**Die wirtschaftliche Seite der Aquakultur.** Man schätzt, dass über den Zeitraum der kommenden 30 Jahre der weltweite Bedarf für Produkte der Aquakultur um 70% ansteigen wird. Es ist weiterhin geschätzt worden, dass in der näheren Zukunft der weltweite Bedarf an Nahrungsmitteln aller Art aus den Meeren die Mengen, die verfügbar sein werden, um ca. 50 bis 80 Millionen Tonnen übersteigen wird.

Überfischung, Verlust von Lebensräumen und die kommerzielle Fischereiindustrie tragen alle zur Abnahme der natürlichen Bestände bei. Falls die Nachfrage weiterhin ansteigt und die Wildbestände gleichzeitig weiterhin abnehmen, wird es zu einem spürbaren Defizit an essbaren Fischen und Schalentieren (Muscheln, Schnecken, Krustentiere) kommen. Die Aquakultur in Verbindung mit einem besseren Ressourcenmanagement verspricht dieses Problem wenigstens teilweise zu kompensieren.

Nach Daten der FAO (Food and Agriculture Organization) der Vereinten Nationen betrug die Produktionsmenge durch Aquakultur im Jahr 1950 ungefähr eine Million Tonnen. Im Jahr 2000 betrug die weltweite aquakulturelle Produktion ca. 33 Millionen Tonnen, was mehr als eine Verdoppelung seit 1984 bedeutet. Neuere Schätzungen gehen davon aus, dass beinahe 30 Prozent aller weltweit vom Menschen konsumierten Fische aus der Aquakultur stammen. Der Markt für auf konventionelle Weise gefangenen Fisch betrug ungefähr 92 Millionen Tonnen. Die Weltfischereiproduktion – Aquakultur plus Fangfisch – belief sich 1999 auf 125 Millionen Tonnen. Einige Quelle mutmaßen, dass die Aquakultur die Rindermast als Nahrungsmittel produzierende Industrie überrundet hat. China ist der größte Fischproduzent der Welt und stellt etwa ein Drittel der Weltproduktion.

Die Aquakultur ist auch in den USA ein großes Geschäft – ihr Umsatz beläuft sich auf mehr als 36 Milliarden US-Dollar und stellt fast 19% des Weltnachschubs an meeresfrüchten. In den letzten zehn Jahren hat sich die aquakulturelle Produktion in den USA fast verdoppelt. Dieser Anstieg soll Annahmen zufolge weiter anhalten, bei gleichzeitiger Steigerungsrate der globalen Aquakulturaktivitäten in gleicher Größenordnung. In den USA ist die Aquakultur in den 50er-Jahren des 20. Jahrhunderts zu einem bedeutenden Zweig der Landwirtschaft avanciert, als Welsmastbetriebe im Südosten der USA etabliert wurden. Heute gibt es in jedem Bundesstaat Aquakulturbetriebe. Einige der erfolgreichsten Beispiele für das wirtschaftliche Potenzial der Aquakultur in den USA stellen die Welsindustrie in den Flussmündungsgebieten der südlichen Staaten Alabama und Mississippi, die Lachsfarmen in Maine (Ostküste) und Washington (Westküste), Forellenfarmen in Idaho und West Virginia sowie die Flusskrebsmästereien in Louisiana dar. In ähnlicher Weise haben Florida, Massachusetts und andere Bundesstaaten erfolgreiche Schalentiermastbetriebe etabliert, von denen die um ihre Existenz kämpfenden Berufsfischer Nutzen ziehen. So beherbergt etwa Cape Cod (Kabeljaukap) in Massachusetts im Nordosten der USA ca. 75% der Aquakulturindustrie des Staates. Dort werden erfolgreich eine Reihe unterschiedlicher Muschelarten gezüchtet, darunter Austern (*Ostrea edulis* sowie *Crassostrea*- und *Ostreola*-Arten) sowie Venusmuscheln (*Mercenaria mercenaria*), Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) und Sandklaffmuscheln (*Mya arenaria*).

Viele weitere Länder sind aktiv um die praktische Anwendung der Aquakultur bemüht. Chile mit seiner langen Pazifikküste ist der zweitgrößte Exporteur weltweit und erwirtschaftet damit jährlich ungefähr eine Milliarde US-Dollar Ertrag. Ecuador, Kolumbien und Peru besitzen ebenfalls schnell wachsende Industrien. Griechische Fischmästereien sind die führenden Produzenten für *Dicentrarchus labrax*. Die griechischen Betriebe produzieren jährlich 100 000 Tonnen. Das macht über 90% der europäischen Aquakulturproduktion aus. Norwegen ist ein führender Lachsproduzent. Kanada auf der anderen Seite des Atlantik erzeugt pro Jahr über 70 000 Tonnen atlantischen und pazifischen Lachs mit einem Marktwert von ca. 450 Millionen US-Dollar. Den größten Anteil an der Produktion hat die Provinz British Columbia an der Pazifikküste mit über hundert Lachsmästereien. Für das kommende Jahrzehnt ist eine Zunahme der kanadischen Fischfarmen von 120 auf über 600 vorausgesagt worden. Dabei sollen 20 000 neue Arbeitsplätze entstehen und die Betriebe sollen über 900 Millionen US-Dollar zur Wirtschaft des Landes beisteuern.

Das rasche Wachstum und der Erfolg der chilenischen Aquakultur hat in vielen anderen Ländern Anlass zu der Frage gegeben: «Wenn Chile das kann, warum können wir es nicht auch?» Als Folge haben wir heute expandierende Aquakulturindustrien in Schottland, Island, Irland, Russland, Indonesien, Neuseeland, Thailand, der Philippinen, Indien und auf den Färöer-Inseln. Niederländische Firmen weiten ihre Aktivitäten in Puer to Rico aus. 2001 hat Algerien, das gegenwärtig 250 Tonnen pro Jahr produziert, einen Fünfjahresplan vorgestellt, der zum Ziel hat, die Produktion auf 30 000 Tonnen pro Jahr zu steigern. Dabei sollen 60 000 neue Jobs anfallen. Argentinien hat ebenfalls einen Fünfjahresplan formuliert, der den Aufbau einer Lachsmastindustrie vorsieht, die 200 Millionen US-Dollar pro Jahr erwirtschaften soll.

Viele der Länder, die in der Entwicklung der Aquakulturindustrie am aktivsten sind, tun dies, weil die örtlichen Gewässer in einem solchen Maße überfischt sind, dass die natürlichen Bestände an Fischen und Schalentieren ernsthaft dezimiert sind. Durch die Aquakultur können Märkte in Gebieten erschaffen werden, in denen die natürlichen Ressourcen verloren sind. Die Aquakultur bieten weiterhin den Nutzen, Meereshnahrungsmittelindustrien in Gebieten der Welt zu erschaffen, die aufgrund ihrer geographischen Lokalisation gemeinhin nicht für ihre Fischerei bekannt sind. So ist beispielsweise eine erfolgreiche

Fischfarmindustrie in den Wüsten Arizonas entwickelt worden, wo wiederverwertetes Wasser aus der Aquakultur auch benutzt wird, um Felder zu bewässern – sogar in den Bewässerungsgräben werden Fische aufgezogen. Ähnliche Anstrengungen werden in Australien unternommen.

In der Theorie sollte eine erhöhte Produktivität bei der Fischaufzucht zu niedrigeren Endpreisen für die Verbraucher führen. Einige Aspekte der Fischaufzucht sind ökonomisch billiger als Tiermast oder kommerzieller Fischfang. Beispielweise braucht man ca. 3 Kilogramm Getreide, um ein halbes Kilogramm Rindfleisch zu produzieren, aber weniger als 1 Kilogramm Fischmehl ist notwendig, um ein halbes Kilogramm der meisten Fische aufzuziehen. Als ein weiteres Beispiel wachsen in Gefangenschaft aufgezogene Welse in Fischfarmen fast 20% schneller, vergleichen mit Welsen in der Wildnis, und sind ungefähr zwei Jahren reif für den Verkauf. Bei Fischen, die mit gentechnisch gezüchtetem Futter für etwa 20 Cent pro Kilogramm gefüttert werden, beläuft sich der Umsatz oft auf 140 bis 160 Cent pro Kilogramm beim aufgezogenen Fisch – eine gute Rendite auf eine Investition.

**Praxis der Fischmast.** In vielerlei Hinsicht ist die Aquakultur einfach eine Fortsetzung der konventionellen landwirtschaftlichen Techniken, wie sie auf dem trockenen Land angewendet werden, und die seit Jahrzehnten in Gebrauch sind. Die Kultivierung von Lebewesen für den menschlichen Verzehr ist nur ein Zweck der Aquakultur. Organismen werden aus vielen anderen Gründen gemästet, zum Beispiel als Köderfische für die kommerzielle und die Hobbyangelei. Kleine Fische wie Sardellen, Heringe und Sardinen werden geerntet und zu Fischmehl und Fischöl verarbeitet, die dann als Futter für Geflügel, Schweine, Rinder und Fische dienen. Die Perlenzucht, die Kultivierung von Arten, um pharmazeutische Wirkstoffe zu isolieren, die Zierfischzucht einschließlich der von Goldfischen und seltenen tropischen Fischen und Fortpflanzung von Fischen, um Erholungsgebiete zu bestücken, gehören zu den zahlreichen Anwendungen der Aquakultur.

Beispielsweise züchten Fischereibiologen in New Jersey (USA) Zuchtforellen, um ein «Reinschmeißen – und rausfischen» – Angeln von Forellen zu kreieren. Jedes Frühjahr bestückt der Staat Ströme, Flüsse, Teiche und Seen überall in New Jersey mit über 700 000 Stück Regenbogen-, Bach- und Seeforellen. Viele Gewässer sind nicht in der Lage, ganzjährig einen Forellenbestand am Leben zu erhalten, weil sie in Sommer zu warm werden oder die Wasserqualität für Forellen zu schlecht ist. Durch das Einsetzen werden Angler ermuntert, ihren Fang zur Bereicherung ihres Speiseplans zu behalten.

Viele andere Bundesstaaten betreiben ähnliche Besatzungsprogramme mit einer Anzahl von Warm- und Kaltwasserarten wie Sonnenbarsche, Brassen, Welse, Hechte und Hybrid-Streifenbarsche – die durch die Kreuzung des Felsenbarsches und des weißen Wolfsbarsches entstanden ist. Solche Programme bieten Angelmöglichkeiten für Leute, die in Ballungsräumen mit relativ wenig Zugang zu ländlichen Fischereigründen leben.

Die Aquakulturpraktiken variieren beträchtlich in Abhängigkeit von Faktoren wie den gehaltenen Arten, den Lebenszyklen der Arten, Umwelterfordernissen für die Wachstum und die Vermehrung sowie der Länge der Zeitspanne, die notwendig ist, um die Schlachtreife zu erlangen. Im Fall einiger Fische wie Lachse und Forellen werden die Eier und Spermien für die Zucht aus speziellen Zuchtbeständen manuell geerntet. In dem Bestreben, die Qualität und die Gesundheit der produzierten Fische aufrechtzuerhalten, sind die Elterntiere aus dem Zuchtbestand oft Fische, die wünschenswerte Wachstumscharakteristiken und körperliche Erscheinungsbilder zeigen. Beispielsweise gehören die Fischwachstumsgeschwindigkeit, die Gesundheit, die Qualität und die Farbe des Fleisches zu den vielen Merkmalen, die in Betracht gezogen werden, wenn Zuchtfische ausgewählt werden.

Die Eizellen werden in kleinen Behältern (Eimer, Schüsseln) befruchtet, die nach dem Schlupf freischwimmenden Fischlarven werden in größere Aquarien mit Wasserdurchfluss überführt. Die frühen Stadien dieser Aufzucht spielen sich innerhäusig in einer Fischzuchtstation ab. Die Fische verlassen die Aufzuchtstation im Allgemeinen, wenn sie etwa Fingerlänge erreicht haben. Diese «Fingerlinge» werden dann für gewöhnlich in Betonbecken umgesetzt, die Rennbahnen genannt werden; diese können sich draußen oder in Gebäuden befinden.

Rennbahnen sind oft als eine Abfolge von untereinander verbundenen Behältern angelegt, die einen kontinuierlichen Wasserdurchfluss erlauben. Dies ist besonders bei Arten wie dem Lachs und Forellen notwendig, die daran bewohnt sind, in strömenden Gewässern zu leben und sich in der Strömung auszurichten und gegen diese anzuschwimmen. Durch die Nachahmung solcher Umweltbedingungen streben die Aquakulturisten an, Fische mit körperlichen Merkmalen zu züchten, die denen der Wildbestände ähnlich sind.

Einige Fischarten werden in Rennbahnen hochgepöppelt, bis sie Schlachtgröße erreichen. Oder sie werden zum weiteren Wachstum in kleine, flache Teiche umgesetzt, bevor sie geerntet werden. Manche Arten wie Lachse können, nachdem sie eine moderate Größe erreicht haben, bis zum Erreichen des Rei-

fezustandes in Netzreusen, Käfigen oder sonstigen Behältnissen, die in der Seen, Teiche oder Mündungen eingesetzt werden, weiter gemästet werden.

Schalentierzüchter benutzen häufig Gestell- oder Käfigsysteme, die mit einer großen Zahl von winzigen, in der Aufzuchtstation vorgezogenen, unreifer Schalentieren wie Austern, Mies- oder anderen Muscheln «angeimpft» werden, welche sich dann an den Gestellkonstruktion festsetzen. Die Gestelle werden dann in Mündungsgebieten ausgelegt, damit die Schalentiere bis zur Schalchtreife in einer natürlichen Meeresumgebung wachsen können. Dieses Verfahren ist außerdem billig, weil keine Fütterung und dergleichen erfolgen muss. Experten haben bemerkt, dass Austernbänke, die pro Hektar und Jahr ungefähr 10 Kilogramm Austern liefern, bis zu 60 000 Kilogramm pro Hektar produzieren können, falls Hängegestelle zum Einsatz kommen. Größere Ausbeuten sind auch für andere Muschelarten berichtet worden. Die meisten Aquakulturbetreiber verändern ständig die Haltungsbedingungen in dem Bestreben, die Ausbeute einer gegebenen Art in einem gegebenen Gebiet zu erhöhen, um den Profit zu maximieren.

Lachsmästereien sind ein ausgezeichnetes Beispiel für den Fischaufzuchtprozess. Eier und Spermien, die man den Elterntieren entnommen hat, die für rasches Wachstum gezüchtet wurden, werden für die Befruchtung eingesetzt, und die resultierenden Embryonen werden für 12-18 Monate in Behältern hochgepäpelt, bis sie Fingerlänge erreicht haben. Die Fingerlinge werden für gewöhnlich in Reusennetze umgesetzt, die in den Ozean oder küstennahe Buchten gelegt werden. Während dieses Vorgangs besteht die Nahrung der Lachse aus gepresstem Trockenfutter, das aus zermahlenden Heringen, Sardellen, Fischöl und Schlachtabfällen von Geflügel und anderen Tieren hergestellt wird. Die Nahrung kann auch Antibiotika und Farbstoffe enthalten, die das Fleisch der Fische schön rosa aussehen lassen, und die Fische können in Pestizidbäder getan werden, um Fischläuse und andere Lästlinge zu entfernen. Während des gesamten Kultivierungsvorgangs können Aquakulturisten den Geschmack der gemästeten Arten verändern, indem sie mit Nahrungsquellen wie gemüsegestützten Nahrungsmitteln versus von Fischen abgeleiteten Nahrungsmitteln experimentieren. Schlussendlich werden makellose Fische der richtigen Größe für den Verkauf verpackt.

**Innovationen in der Fischmast.** Viele innovative Ansätze zur Fischmast sind in der Entwicklung. In West Virginia sind Fischereibiologen beispielweise dabei, Vorteile aus den reichlich vorhandenen ehemaligen Kohlengruben zu ziehen. Grundwasser und Wasser aus Quellen sickert in viele Gruben und füllt diese langsam auf; dadurch entstehen hochqualitative Umgebungen für die Mast von Kaltwasserfischen wie der Regenbogenforelle und dem Seesibling. Dieser Ansatz stellt auch eine bedeutende Verwendung für aufgegebene Gruben dar, die sonst keinem Zweck dienen würden. Man schätzt, dass West Virginia über genug Qualitätsgrubenwassergebiete verfügt, um die jährliche Fischproduktion von gegenwärtig ca. 200 000 Kilogramm auf über 5 Millionen Kilogramm zu steigern.

Einige Firmen haben mit Polykulturen, die auch als integrierte Aquakulturen bezeichnet werden, experimentiert. Dabei wird mehr als eine Art im gleichen Behälter gemästet. Die Mast von Arten mit unterschiedlichen Nahrungserfordernissen und Fressgewohnheiten ist ein Weg, um Wasserressourcen zu optimieren. Die Polykultur kann verschiedene Fische umfassen, die cokultiviert werden, Fische und Schalentiere, die zusammen gemästet werden, sowie eine Pflanzen-Tiercokultur. Beispielsweise ist die Mast von Karpfen in der Gegenwart von Pflanzen wie Salat ein effektiver Ansatz. Die Wurzeln von Salats nehmen Nährstoffe und Fischabfallprodukte aus dem Wasser als Dünger, der das Salatwachstum fördert, auf.

Ein weiterer, relativ neuer Aquakulturansatz beinhaltet die Verwendung von hydroponischen Systemen. Diese Systeme sind kleinvolumige, wasserfließende Systeme, in denen Gemüse wie Tomaten und Brokkoli oder Kräuter wie Basilikum und Schnittlauch in Gestellen kultiviert werden, durch die Abwasser aus den Fischbassins fließt.

Die Polykultur und hydroponische Systeme werden häufig zusammen eingesetzt, wenn Fische wie Welse, Karpfen und Tilapien gemästet werden.

## LITERATUR

1. Богерук, А.К. Биотехнологии в аквакультуре: теория и практика / А.К. Богерук – М.: ФГНУ «Росинформротех», 2006. – 232 с.
2. Hochleithner, M. Aquakultur Technologie. Fischzucht und Zubehör / M. Hochleithner. – Berlin : Aqua Tech Publication, 2002. – 347 S.
3. Schäperclaus, W. Lehrbuch der Teichwirtschaft / W. Schäperclaus, M. Von Lukowicz. – Stuttgart : Ulmer-Verlag, 1997. – 432 S.
4. Thieman, W.J. Biotechnologie / W.J. Thieman, M.A. Palladino. – München : Print Consulat GmbH, 2007. – 448 S.

## BIOTECHNOLOGY METHODS IN AQUACULTURE

*M.I. LIASIUK, V.N. BOSAK, T.V. KOZLOVA, A.I. KOZLOV*

### *Summary*

Modern biotechnology research and its practical application in aquaculture have been considered. Economic aspects of aquaculture, main practical results in fish-breeding and technology innovations have been analyzed.

© Лесюк М.И., Босак В.Н., Козлова Т.В., Козлов А.И.

*Поступила в редакцию 10 марта 2010 г.*