

Азимханова Б.Б.,  
Түфуминова Я.С., Оразова С.Б.,  
Карпенюк Т.А., Гончарова А.В.

Казахский национальный университет  
имени аль-Фараби, Казахстан, Алматы

**Влияние времени  
культивирования и  
концентрации азота в среде  
на содержание липидов и  
жирнокислотный состав  
микроводорослей**

Azimkhanova B.B.,  
Tufuminova Ya.S., Orazova S.B.,  
Karpenyuk T.A., Goncharova A.V.

Al-Farabi Kazakh national university,  
Kazakhstan, Almaty

**The influence of culture time and  
the concentration of nitrogen in  
the medium on lipid content and  
fatty acid composition  
of microalgae**

Азимханова Б.Б.,  
Түфуминова Я.С., Оразова С.Б.,  
Карпенюк Т.А., Гончарова А.В.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық  
университеті, Қазақстан, Алматы

**Өсіру уақыты мен ортадағы  
азот концентрациясының  
микробалдырлар  
клеткаларының липидтер  
мөлшері мен май қышқыл  
құрамына әсері**

В настоящее время одним из биотехнологических приемов, позволяющих повысить содержание липидов и полиненасыщенных жирных кислот в клетках микроводорослей является оптимизация условий их культивирования. В работе было изучено влияние времени культивирования и различных концентраций азота на накопление липидов и полиненасыщенных жирных кислот зеленой микроводоросли *Dictyochlorella globosa* и диатомовой микроводоросли *Pleurosigma* sp. Было установлено, что наиболее оптимальными условиями для синтеза липидов и полиненасыщенных жирных кислот для микроводоросли *Dictyochlorella globosa* являются выращивание на среде Фитцджеральда с нормальным содержанием азота в течение 10 суток, а для *Pleurosigma* sp. выращивание на среде Фитцджеральда с уменьшенным вдвое содержанием азота в течение 5 суток. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологии получения липидов и полиненасыщенных жирных кислот для использования в качестве биологически активных добавок и лекарств в профилактике и лечении ряда заболеваний человека и сельскохозяйственных животных.

**Ключевые слова:** микроводоросли, липиды, полиненасыщенные жирные кислоты, время культивирования, концентрация азота.

Currently one of the biotechnological techniques to increase the content of lipids and polyunsaturated fatty acids in the microalgae cells is the optimization of their culture conditions. In this work was studied the influence of time of cultivation and different concentrations of nitrogen on the accumulation of lipids and polyunsaturated fatty acids of green microalgae *Dictyochlorella globosa* and diatom microalgae *Pleurosigma* sp. It was found that the optimal for the synthesis of lipids and polyunsaturated fatty acids conditions for microalgae *Dictyochlorella globosa* are growing on the Fitzgerald medium with normal nitrogen content for 10 days, and for *Pleurosigma* sp. the cultivation on the medium with Fitzgerald with twice reduced content of nitrogen within 5 days. The data obtained can be used to the development of technology for production of lipids and polyunsaturated fatty acids for use as a biologically active additives and medicines for prevention and treatment of several diseases of humans and farm animals.

**Key words:** microalgae, lipids, polyunsaturated fatty acids, time of cultivation, the concentration of nitrogen.

Қазіргі кезде микробалдырлар клеткаларындағы липид және полиқанықпаған май қышқыл мөлшерлерін көбейтуге арналған биотехнологиялық әдістерінің бірі – олардың өсіру жағдайларын оптимизациялау. Жұмыста жасыл микробалдыр *Dictyochlorella globosa* және диатомдық микробалдыр *Pleurosigma* sp. клеткаларындағы липид және полиқанықпаған май қышқылдар жинақталуына өсіру уақыты мен әр түрлі азот контцентрациясының әсері зерттелді. *Dictyochlorella globosa* микробалдырының липид және полиқанықпаған май қышқылдар жинақталуына ықпал ететін оптималды жағдай – 10 тәулік ішінде құрамында қалыпты азот концентрациясы бар Фитцджеральд ортасында, ал *Pleurosigma* sp. микробалдырын 5 тәулік ішінде, азот концентрациясы екі есе азайтылған Фитцджеральд ортасында оптималды өсіру жағдайы анықталды. Алынған нәтижелерді әр түрлі адам және ауылшаруашалық малдардың ауруларын емдеу және профилактика үшін қолданылатын липидтер және полиқанықпаған май қышқылдары негізінде алынатын биологиялық белсенді заттар және дәрілер өндіру технологиясында қолдануға болады.

**Түйін сөздер:** микробалдырлар, липидтер, полиқанықпаған май қышқылдары, өсіру уақыты, азот концентрациясы.

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ  
КУЛЬТИВИРОВАНИЯ  
И КОНЦЕНТРАЦИИ  
АЗОТА В СРЕДЕ  
НА СОДЕРЖАНИЕ  
ЛИПИДОВ И  
ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ  
СОСТАВ  
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ****Введение**

Микроводоросли (МВ) представляют собой огромный биологический ресурс. Они находят применение в разных областях науки и технологии (фармакология, косметология, пищевая промышленность, сельское хозяйство, биоэнергетика и т.д.). МВ являются перспективными продуцентами липидов. При оптимальных условиях культивирования некоторые виды микроводорослей могут накапливать до 70% липидов от сухого веса, что превышает содержание липидов у большинства масличных зерновых культур [1]. Всё большее значение для человека и многих животных приобретают полиненасыщенные кислоты (ПНЖК), входящие в состав липидов, т.к. они обладают ценными свойствами. Основными представителями ПНЖК являются линолевая (C18:2n-6),  $\alpha$ - и  $\gamma$ -линоленовые (C18:3n-3) и (C18:3n-6), арахидоновая (C20:4n-6), эйкозапентаеновая (C20:5n-3) и докозагексаеновая (C22:6n-3) кислоты [2]. Линолевая (ЛК) и линоленовая кислоты служат предшественниками более длинноцепочечных жирных кислот. Арахидоновая кислота (АК) трансформируется в эйкозаноиды, лейкотриены и простаноиды – биологические регуляторы сердечно-сосудистой, нервной, репродуктивной и иммунной систем организма. Эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) влияет на развитие инфекционных процессов, оказывая сильное противовоспалительное действие [3]. ПНЖК необходимы для нормального роста и развития организма, в особенности детского, играют важную роль в предупреждении и лечении многих иммунных, воспалительных и сердечно-сосудистых заболеваний, например, ревматоидного артрита, ишемической болезни сердца, а также рака [4,5].

В организме млекопитающих ПНЖК не могут синтезироваться *de novo* и должны поступать извне. В настоящее время в качестве основных источников для получения ПНЖК применяются растительные масла и морепродукты. В животных жирах, например, свином, содержание ПНЖК незначительно. Нехватка ПНЖК в рационе, сложность технологии их традиционного получения заставляют искать новые эффективные источники ПНЖК [6]. В качестве таких источников получения

ПНЖК всё большую популярность приобретают МВ. Это связано с тем, что они характеризуются быстрым темпом накопления биомассы на простых средах, способностью накапливать и синтезировать большое количество липидов (до 70%), отсутствием конкуренции с растениями за пахотную землю (появляется возможность наращивать биомассу в местах, непригодных для посева) и др. [7,8].

Одним из биотехнологических приемов, позволяющих повысить содержание липидов и ПНЖК в биомассе МВ, является оптимизация условий их культивирования. Наиболее часто применяемыми способами являются сбор биомассы для выделения липидов в стационарную фазу роста клеток и лимитирование среды культивирования по источнику азота [9].

Целью данной работы является подбор времени культивирования и концентрации азота в среде культивирования МВ *Dictyochlorella globosa* и *Pleurosigma sp.*, способствующие максимальному выходу содержания липидов и ПНЖК.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись МВ из коллекции лаборатории: зеленая водоросль – *Dictyochlorella globosa*, диатомовая – *Pleurosigma sp.*, характеризующиеся по результатам предыдущих исследований стабильным ростом в лабораторных условиях, а также высоким содержанием липидов. Водоросли культивировали в накопительном режиме, при 16-часовом фотопериоде. Интенсивность света на поверхности раствора составляла 8 кЛк. Температура среды колебалась в диапазоне 20 – 25°C. МВ выращивали в 250-миллилитровых конических колбах. Объем среды в колбах составлял 80 мл при высоте слоя раствора 5 см. В качестве питательной среды использовали среду Фитцджеральда [10]. В вариантах опытов с уменьшенным на четверть (1/4N), половину (1/2N) и три четверти (3/4N) количеством азота в контрольной среде (N) снижалось количество внесенной соли  $\text{NaNO}_3$  (до 0,372 г/л, 0,248 г/л, 0,124 г/л, соответственно). Сбор биомассы производился на 5, 10 и 20 сутки культивирования.

Экстракцию липидов из клеток проводили согласно методам Kates [11] и Garbus [12].

Жирные кислоты анализировали методом газовой хроматографии в виде их метиловых эфиров (МЭЖК), которые получали по методике Christie [13]. К определенному количеству

общего липидного экстракта добавляли 3 мл 2,5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в метаноле: толуоле (2:1), реакция метилирования протекала при 70°C в течение 2 часов. Известное количество жирной кислоты C24:1 (1 мг/мл) добавляли в качестве внутреннего стандарта для количественного определения, как индивидуальных жирных кислот, так и для определения количества общих липидов. МЭЖК экстрагировали из метилирующей смеси гексаном (2 x 3 мл) после добавления 3 мл 5% NaCl. Гексановые фракции объединяли и выпаривали в токе азота, сухой осадок растворяли в 50-80 мкл гексана и переносили в виалы для анализа.

Хроматографическое разделение МЭЖК проводили на газовом хроматографе Clarus 500 (Perkin Elmer, США) с 30 м x 0,25 мм внут. диам. капиллярной колонкой (Elite 225, Perkin Elmer). Разделение МЭЖК проходило в следующем температурном режиме: 170°C – 3 мин, нагрев до 220°C со скоростью 4°C/мин, удерживание в течение 15 мин. Идентификация индивидуальных ЖК была проведена путем сравнения времен удерживания пиков с таковыми у стандарта G411 Fa, содержащего 31 жирную кислоту от C8 до C24:1 (Nu-Chek Prep. Inc., Elysian, MN, США). Обработка хроматограмм проводилась с использованием Perkin-Elmer Total Chrom Navigator программного обеспечения.

### Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизация технологии получения липидов из МВ в промышленных масштабах тесно связана с условиями культивирования, которые влияют как на содержание общих липидов, так и на жирнокислотный состав. Например, известно, что аккумуляция продуктов метаболизма, в том числе липидов происходит у многих МВ во время стационарной фазы роста, когда клетке не нужно затрачивать энергию на рост и развитие [14]. При недостатке азота деление клеток микроводорослей останавливается, и липиды, в основном триацилглицериды (ТАГ) накапливаются в клетках, которые вследствие этого продолжают увеличиваться в размерах. В результате содержание ТАГ в клетках МВ может увеличиться в два и более раз. При этом наблюдается снижение доли и количества мембранных липидов, что связано с редукцией фотосинтетического аппарата, наблюдаемой в неблагоприятных условиях. Видимо, ускоренный синтез некоторых липидов при азотном голодании – общая реакция водорослей [15].

Установлено, что содержание липидов у *Dictyochlorella globosa* увеличивалось к концу культивирования при всех вариантах опыта (таблица 1) ( $P < 0,001$ ). Так, в контроле (N) к 20-м суткам оно достигло максимального значения  $22,5 \pm 3\%$  от сухого веса (СВ). При внесении уменьшенного количества азота в концентрации  $3/4N$  и  $1/4N$ , содержание липидов было меньше, чем в контроле, и достигало  $19,8 \pm 3$  и  $16,4 \pm 2\%$  от СВ, соответственно, в варианте опыта с концентрацией азота  $1/2N$  оно было сопоставимо с контролем.

Содержание липидов у *Pleurosigma sp.* увеличивалось к концу культивирования до  $17,7 \pm 2\%$  от СВ (таблица 1). Снижение количества азота стимулировало образование липидов. Так, при внесении азота в концентрации  $3/4N$ ,

максимальное количество липидов наблюдалось на 10 сутки культивирования –  $34,6 \pm 4\%$ , а к 20 суткам снизилось до  $30,8 \pm 3,1\%$  от СВ. Аналогичная картина наблюдалась и при внесении в концентрации азота  $1/4N$ , максимальное количество было равно  $27,3 \pm 3\%$  от СВ. В варианте опыта с концентрацией азота  $1/2N$ , содержание липидов увеличивалось до окончания культивирования, максимальное значение было равно  $30,5 \pm 3\%$  от СВ ( $P < 0,001$ ).

Из данных литературы известно, что интенсивный синтез липидов обычно происходит в стационарную фазу роста, однако у некоторых микроорганизмов липиды накапливаются в молодых культурах и уровень ПНЖК снижается с возрастом [16]. Полученные нами данные согласуются со вторым утверждением.

**Таблица 1** – Содержание липидов у *Dictyochlorella globosa* и *Pleurosigma sp.* в зависимости от концентрации азота в среде и времени культивирования, % от биомассы, соответственно, \*  $P < 0,001$

Условие культивирования			
		<i>Dictyochlorella globosa</i>	<i>Pleurosigma sp.</i>
Контроль	N-5	14,1±1,5	8,3±0,9
	N-10	18,3±2,0	9,4±1,0
	N-20	22,5±3,0*	17,7±2,0*
Концентрация азота в среде	3/4N-5	12,5±2,0	5±0,6
	3/4N-10	15,2±2,1	34,6±4,0*
	3/4N-20	19,8±3,0*	30,8±3,1*
	1/2N-5	10,4±1,1	10,5±1,1
	1/2N-10	14,4±1,5	20,8±2,1*
	1/2N-20	22,3±3,0*	30,5±3,0*
	1/4N-5	12,7±1,3	17,9±2,0
	1/4N-10	15,6±1,9	27,3±3,0*
1/4N-20	16,4±2,0*	18,9±2,0	

Выращивание *Dictyochlorella globosa* в течение 20 суток не вызывало достоверного изменения содержания фракции ПНЖК, которое варьировало от  $62,7 \pm 5$  до  $66,5 \pm 5,2\%$  от суммы жирных кислот (рисунок 1). При выращивании МВ на средах с содержанием азота ниже контрольного количество ПНЖК достоверно не изменялось вплоть до 10 суток культивирования при всех вариантах внесения азота. К 20 суткам культивирования содержание ненасыщенных жирных кислот уменьшалось на  $14,9-19,1\%$  от суммы жирных кислот по сравнению с контролем при всех вариантах уменьшенного внесения

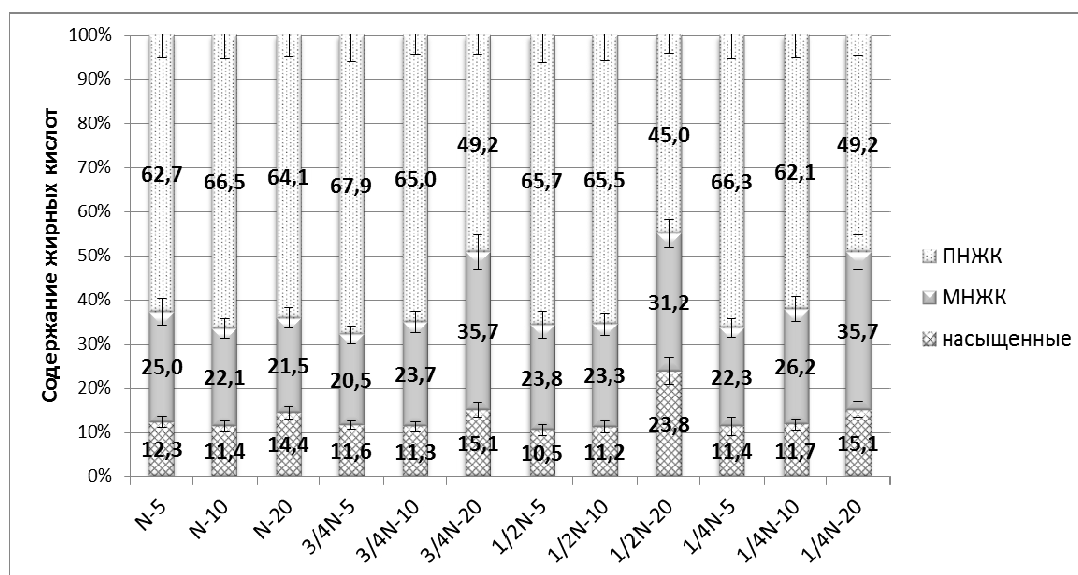
источника азота, в основном за счет увеличения фракции мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК) ( $P < 0,001$ ).

У МВ *Pleurosigma sp.* при изменении условий культивирования (время культивирования и концентрации источника азота) количество ПНЖК при культивировании в течение 20 суток колебалось в пределах  $25,5 \pm 2,7-33,2 \pm 3,3\%$  от суммы жирных кислот (рисунок 2). При понижении содержания источника азота на  $3/4N$  содержание ПНЖК повышался на  $16,1\%$  по сравнению с контролем (N) и достигало к 5 суткам культивирования  $46,3 \pm 5\%$  от суммы жирных кислот,

дальнейшее культивирование приводило к понижению количества ПНЖК почти вдвое за счет увеличения фракции МНЖК ( $P < 0,001$ ).

Аналогичная тенденция наблюдалась и при внесении источника азота в концентрации 1/2N. В этом случае содержание ПНЖК на 5 сутки культивирования достигало  $52,1 \pm 5,2\%$  от суммы

ЖК, на 20 сутки снижалось до  $13 \pm 1,4\%$  от суммы жирных кислот ( $P < 0,001$ ). В варианте опыта с концентрацией азота 1/4N приводило к снижению содержания ПНЖК в 2-3 раза по сравнению с контролем (до  $10,8 \pm 1,1$ - $13,7 \pm 1,2\%$  от суммы жирных кислот) на протяжении всего периода культивирования ( $P < 0,001$ ).



По оси абсцисс – N, 3/4N, 1/2N, 1/4N – количество внесенного азота; 5, 10, 20 – сутки культивирования

**Рисунок 1** – Влияние сроков культивирования и содержания внесенного в среду азота на процентное содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот у *Dictyochlorella globosa*

Качественных изменений в жирнокислотном составе у *Dictyochlorella globosa* в течение 20 суток культивирования выявлено не было (таблица 2). Содержание альфа-линоленовой кислоты (АЛК) варьировало от  $30,1 \pm 3,1$  до  $35,4 \pm 3,2\%$  от суммы жирных кислот. В результате изучения влияния количества вносимого азота на жирнокислотный состав была выявлена следующая тенденция: при всех уменьшенных концентрациях вносимого азота по мере культивирования наблюдалось увеличение доли насыщенных и моноеновых кислот и уменьшение фракции полиненасыщенных.

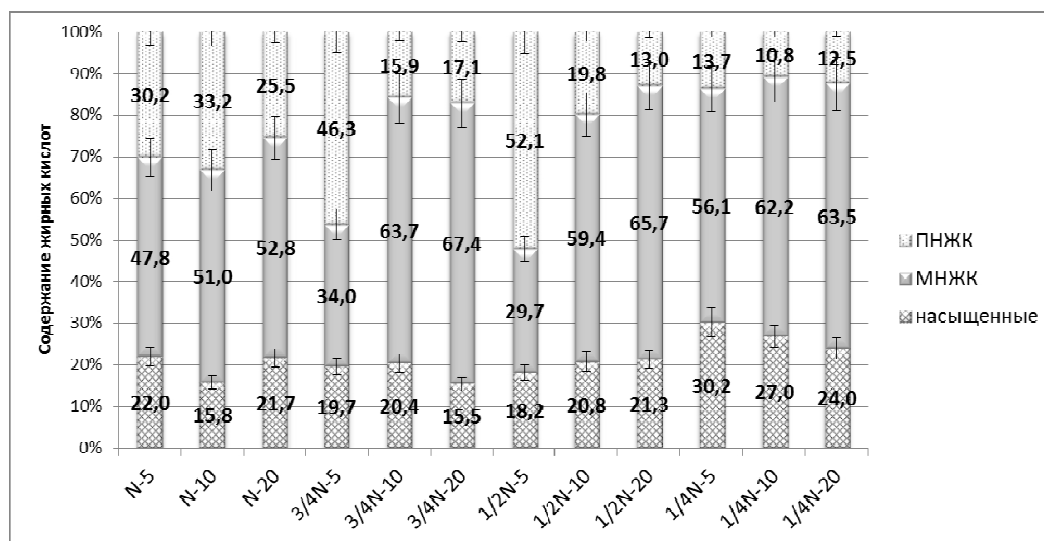
Так, при концентрации азота 3/4 и 1/4N содержание пальмитиновой кислоты увеличилось на 3,4-3,7%, а при концентрации 1/2N на 13,3% от суммы жирных кислот по сравнению с 5 днем культивирования. Содержание пальмитолеиновой кислоты увеличилось на 3,6-5,5%, олеиновой – на 3,8-9,7% от суммы жирных кислот по сравнению с 5 днем культивирования при всех уменьшенных концентрациях азота. Содержа-

ние ПНЖК C16:4n-3 уменьшилось к концу культивирования на 2,8-4,1%, АЛК – на 11,5-12% от суммы жирных кислот ( $P < 0,001$ ). Максимальное значение АЛК наблюдалось при нормальном количестве азота на 10 сутки культивирования –  $35,4 \pm 3,2\%$  от СВ.

Результаты исследования показали, что у *Pleurosigma sp.* при нормальной концентрации азота в среде содержание пальмитолеиновой кислоты к концу культивирования снижалась более, чем в 2 раза, также наблюдалось снижение ПНЖК C16 и C20 рядов ( $P < 0,001$ ) (таблица 3). Содержание АК к концу культивирования понизилось с  $10,4 \pm 1,1$  до  $3,6 \pm 0,4\%$ , то есть на 6,8% от суммы жирных кислот, а содержание ЭПК снизилось на 6,4% от суммы жирных кислот ( $P < 0,001$ ). В то же время содержание ненасыщенных кислот C18 ряда повышалось. Так, содержание олеиновой кислоты к концу культивирования повысилось на 31,2%, ЛК – на 3,5%, АЛК – на 7,2% от суммы жирных кислот ( $P < 0,001$ ).

В результате исследования влияния количества азота в среде на жирнокислотный состав *Pleurosigma sp.* было выявлено, что: при внесении азота в концентрации 3/4 и 1/2N к 20 суткам культивирования содержание пальмитолеиновой кислоты увеличивалось на 25,7-32%, а при концентрации 1/4N – на 9,5% от суммы жирных кислот по сравнению с начальным значением ( $P < 0,001$ ). Содержания другой моноеновой кислоты – олеиновой также увеличивалось при концентрациях 3/4 и 1/2N, но не столь значительно по сравнению

с контролем. Так, при внесении азота в концентрации 3/4N оно увеличилось на 7,6%, а при концентрации 1/2N – на 4% от суммы жирных кислот. Максимальное содержание наиболее ценных ПНЖК – АК и ЭПК, наблюдалось на 5 сутки культивирования при внесении азота в концентрации 3/4N и 1/2N азота. В варианте опыта с концентрацией азота 3/4 N содержание АК было равно  $7,7 \pm 0,8\%$ , а ЭПК –  $11,7 \pm 1,2\%$  от суммы жирных кислот и к концу культивирования понижалось до  $5,4 \pm 0,6$  и  $4,8 \pm 0,5\%$ , соответственно.



По оси абсцисс – N, 3/4N, 1/2N, 1/4N – количество внесенного азота; 5, 10, 20 – сутки культивирования

**Рисунок 2** – Влияние сроков культивирования и содержания внесенного в среду азота на процентное содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот у *Pleurosigma sp.*

При внесении азота в концентрации 1/2 N на 5 сутки культивирования содержание АК достигло  $12 \pm 2\%$ , а ЭПК –  $18,3 \pm 2,1\%$  от суммы жирных кислот и к концу культивирования уменьшилось на 7,5 и 15,5% от суммы жирных кислот, соответственно ( $P < 0,001$ ). При внесении 1/4N азота не наблюдалось каких-либо значительных изменений в качественном составе жирных кислот, основную массу занимали пальмитиновая и пальмитолеиновая кислоты –  $23,3-28,5 \pm 3\%$  и  $52,8-62,3 \pm 5,9\%$  от суммы ЖК, соответственно.

Анализ данных показал, что наиболее оптимальными условиями для синтеза липидов и ценных ПНЖК для МВ *Dictyochlorella globosa* являются выращивание на среде Фитцджеральда с нормальным содержанием азота в течение 10

суток; для *Pleurosigma sp.* выращивание на среде Фитцджеральда с уменьшенным вдвое содержанием азота в течение 5 суток;

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что для двух перспективных МВ *Dictyochlorella globosa* и *Pleurosigma sp.* определены условия культивирования, повышающие содержание липидов и ПНЖК. Полученные результаты могут быть применены для получения высокоэффективных микроводорослевых препаратов липидов и ПНЖК, которые перспективны для использования при лечении атеросклероза, сердечно-сосудистых, онкологических, воспалительных и других заболеваний, в питании грудных детей, как биодобавки в различные антивозрастные крема, лечебные и косметические мази и т.д.

**Таблица 2** – Жирнокислотный состав *Dictyochlorella globosa* в зависимости от концентрации азота в среде и времени культивирования, % от суммы жирных кислот, \* P<0,001

ЖК	Контроль				Концентрация азота в среде											
	N-5	N-10	N-20	3/4N-5	3/4N-10	3/4N-20	1/2N-5	1/2N-10	1/2N-20	1/4N-5	1/4N-10	1/4N-20				
C16:0	12,4±1,1	11,5±1,1	14,4±1,5	11,7±1,2	11,3±1,2	15,1±2,0	10,5±1,1	11,2±1,2	23,8±2,7	11,4±1,3	11,7±1,1	15,1±1,6				
C16:1	8,5±1,0	10±1,0	7,6±0,8	8,5±1,0	9,4±1,0	14±1,4	8,5±0,9	9,2±1,0	12,1±1,4	9,3±1,0	11±1,1	14±1,8				
C16:2n-6	1,3±0,1	1,7±0,2	2,9±0,4	1,5±0,2	2±0,2	2±0,2	1,5±0,2	1,8±0,2	2,3±0,3	1,9±0,1	1,9±0,2	2,1±0,2				
C16:3n-3	6,9±0,7	7,9±0,8	10,3±1,2	6,7±0,8	9,7±0,9	6,3±0,7	5,9±0,6	9,1±1,0	7,3±0,8	6,4±0,5	8,9±0,9	7,2±0,7				
C16:4n-3	5,6±0,6	8,1±0,9	5,4±0,5	8,2±0,8	5,8±0,6	4,1±0,5	6,3±0,6	5,9±0,6	3,3±0,4	6,6±0,7	5,6±0,6	3,8±0,4				
C18:1	16,5±2,0	12,1±1,3	14±1,2	12±1,0	14,4±1,5	21,7±2,2	15,3±2,0	14±1,4	19,1±2,0	13±1,4	15,1±1,5	21,7±2,2				
C18:2n-6	11,7±1,2	9,8±1,0	11,8±1,6	11,1±1,0	11,1±1,2	10,3±1,1	12,7±1,3	10,9±1,1	8,2±0,9	11,7±1,3	11,1±1,2	11,1±1,3				
C18:3n-3	32,1±3,0	35,4±3,2	30,1±3,1	35±4,0	32,4±3,3	23±2,3*	31,8±3,1	33,5±3,3	20,3±2,0*	34,1±2,5	30,7±4,0	22,4±2,0*				
C18:4n-3	3,1±0,3	2,8±0,3	2,9±0,4	2,8±0,3	2,7±0,3	2,3±0,2	3,4±0,3	2,8±0,3	2,1±0,2	2,8±0,3	2,5±0,3	2,1±0,2				
C20:3n-3	1,9±0,1	0,7±0,1	0,6±0,1	2,5±0,3	1,2±0,1	1,2±0,2	4,1±0,5	1,6±0,2	1,5±0,2	2,8±0,3	1,5±0,2	0,5±0,1				

**Таблица 3** – Жирнокислотный состав *Pleurosigma sp.* в зависимости от концентрации азота в среде и времени культивирования, % от суммы жирных кислот, \* P<0,001

Жирные кислоты	Контроль				Концентрация азота в среде											
	N-5	N-10	N-20	3/4N-5	3/4N-10	3/4N-20	1/2N-5	1/2N-10	1/2N-20	1/4N-5	1/4N-10	1/4N-20				
C16:0	21±2,0	15,3±1,5	20,6±2,2	16,9±1,7	19,7±2,0	14,9±1,5	15,7±1,8	20,1±2,0	20,9±2,1	28,5±3,0	26,3±2,7	23,3±2,4				
C16:1	46,2±5,0	49,5±5,1	20±2,0*	31,3±3,1	62,2±5,2	57±5,5*	27,6±3,0	53,7±5,2	59,6±5,8*	52,8±5,1	61,3±5,9	62,3±5,9*				
C16:2n-6	3,3±0,3	3±0,3	0,8±0,1	4,1±0,4	1,9±0,2	1,2±0,1	5,6±0,6	2,5±0,3	1,3±0,1	1,2±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1				
C16:3n-3	4,6±0,5	4,7±0,5	2±0,2	7,1±0,7	2,2±0,2	1±0,1	11,5±1,2	2,3±0,2	1±0,1	1,5±0,2	1,2±0,1	1,2±0,1				
C16:4n-3	н.о.	0,4±0,04	2±0,2	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,2±0,02	н.о.	н.о.	н.о.				
C18:0	1,1±0,1	0,5±0,05	1,1±0,1	2,8±0,3	0,7±0,07	0,7±0,07	2,5±0,3	0,8±0,09	0,5±0,05	1,7±0,2	0,7±0,07	0,6±0,06				
C18:1	1,5±0,2	1,4±0,1	32,7±3,3*	2,7±0,3	1,4±0,2	10,3±1,1	2,1±0,2	5,7±0,6	6,1±0,6	3,3±0,4	0,8±0,08	1,2±0,1				
C18:2n-6	1,6±0,2	1,4±0,1	5,1±0,5	2,3±0,2	0,7±0,07	1,8±0,2	2,5±0,3	1,1±0,1	1,1±0,1	4±0,4	0,6±0,06	0,6±0,06				
C18:3n-6	0,6±0,1	0,6±0,06	0,4±0,04	н.о.	0,9±0,09	0,6±0,06	н.о.	0,8±0,08	0,7±0,07	0,7±0,07	0,6±0,06	0,7±0,07				
C18:3n-3	1±0,1	2,3±0,2	8,2±0,9	1,9±0,2	0,6±0,06	2,3±0,2	2,2±0,2	1,2±0,1	1,1±0,1	0,3±0,03	0,2±0,02	0,3±0,03				
C18:4n-3	0,1±0,01	0,2±0,02	1,3±0,1	11,5±1,2	0,1±0,01	н.о.	н.о.	0,1±0,01	0,2±0,02	н.о.	н.о.	0,1±0,01				
C20:4n-6	10,4±1,1	12,2±1,3	3,6±0,4*	7,7±0,8	4,6±0,5	5,4±0,6	12±2,0	6,9±0,7	4,5±0,5*	3,3±0,4	3,9±0,4	5±0,6				
C20:5n-3	8,6±0,9	8,5±1,0	2,2±0,2*	11,7±1,2	5±0,6	4,8±0,5*	18,3±2,1	4,8±0,5	2,8±0,3*	2,7±0,3	3±0,3	3,4±0,4				

Примечание: н.о. – не обнаружено.

### Литература

- 1 Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ (2008) Biofuels from Microalgae, *Biotechnol. Prog.*, 24(04): 815-817. DOI: 10.1021/bp070371k
- 2 Adesina AJ (2012) Classification, Biosynthesis and health implications of n-3 and n-6 PUFAs, *J Pharm Biomed Sci*, 20(08):1-12
- 3 Nazarov PE, Myagkova GI, Groza NV (2009) Polyunsaturated fatty acids as universal endogenic bioregulators, *Bulletin of MSUTCT*, 49(5):3-19
- 4 Ziboh VA (2000) Metabolism of polyunsaturated fatty acids by skin epidermal enzymes: generation of antiinflammatory and antiproliferative metabolites, *Am J Clin Nutr*, 71(1):361- 366
- 5 Simopoulos AP (2004) The traditional diet of Greece and cancer, *Eur J Cancer Prev*, 13(3):219-230
- 6 Kumar J, Banerjee R (2013) Optimization of lipid enriched biomass production from oleaginous fungus using response surface methodology, *Indian J Exp Biol*, 51:979-983
- 7 Dunstan GA, Volkman JK, Jeffrey SW (1992) Biochemical composition of microalgae from the green algal classes Chlorophyceae and Prasinophyceae. 2. Lipid classes and fatty acids, *J. Exp. Marine Biol. Ecol.*, 161(1): 115-134. DOI: 10.1016/0022-0981(92)90193-E
- 8 Mata TM (2010) Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 217-232.
- 9 Pedersen TA (1961) Lipid formation in *Cryptococcus terricolus*. Nitrogen nutrition and lipid formation, *Acta Chem. Scand.*, 15:651-662.
- 10 Karpenyuk TA, Orazova SB, Dzhokebaeva SA, Goncharova AV, Tsurkan YS, Kalbaeva AM (2013) Analysis of microalgae lipids isolated from Basin of Kazakhstan, to assess the prospects of practical use, *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, 79:1719-1721.
- 11 Kates M (1986): *Techniques of Lipidology: Isolation, Analysis, and Identification of Lipids*. Volume 3. New York: Elsevier Science Publishing Company: 1986:422.
- 12 Garbus J, Deluca HF, Loomans ME, Strong FM (1963) Rapid incorporation of phosphate into mitochondrial lipids. *J Biol Chem*: 238:59-63.
- 13 Christie WW (2003) *Lipid analysis. Isolation, separation, identification and structural analysis of lipids*. Bridgwater: The Oily Press (UK). P.416.
- 14 Masato B, Yoshihiro S (2011) Biosynthesis of Lipids and Hydrocarbons in Algae, *Basic life sciences*: 4:5-8
- 15 Guschina IA, Harwood JL (2006) Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae, *Prog. Lipid Res.*, 45:160–186. DOI: 10.1016/j.plipres.2006.01.001
- 16 Greenwell HC, Laurens ML, Shields RJ, Lovitt RW, Flynn KJ (2010) Placing microalgae on the biofuels priority list: a review of the technological challenges, *J R Soc Interface*, 7(46):703–726. DOI: doi: 10.1098/rsif.2009.0322