



УДК [577.125:58.04]582.263

© 2011

А. І. Горда, В. В. Грубінко

Біосинтез ліпідів у *Chlorella vulgaris* Beijer. за дії Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} та Pb^{2+}

(Представлено академіком НАН України В. Д. Романенком)

Досліджено вплив Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} та Pb^{2+} на інтенсивність біосинтезу ліпідів у одноклітинній водорості *Chlorella vulgaris* Beijer. В усіх випадках виявлено загальну тенденцію до накопичення в клітинах водорості триацилгліцеролів, діацилгліцеролів і неетерифікованих жирних кислот, які беруть участь у захисті клітин від несприятливої дії, та зменшення вмісту фосфоліпідів. За дії Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} ^{14}C -ацетат натрію максимумально включається у фосфоліпідів, за дії Mn^{2+} — у діацилгліцеролів, а синтез інших класів ліпідів пригнічується. Вміст хлорофілів *a* і *b* за дії Zn^{2+} і Pb^{2+} істотно зростає, а за дії Cu^{2+} і Mn^{2+} — зменшується. Обговорюється регуляторна роль та токсичний вплив досліджених іонів металів щодо ліпідного обміну у хлорели.

Екологічна пластичність, життєздатність та продуктивність водоростей визначається їх метаболічною активністю, а біохімічний склад при адаптації до несприятливих факторів водного середовища — спрямованістю та інтенсивністю біосинтезу і катаболізму окремих метаболітів [1, 2]. Метаболічний статус клітин водоростей регулюється чинниками різної природи, у тому числі іонами металів, які викликають як кількісні, так і якісні зміни складу клітин [2–5]. Відомо, що для нормальної життєдіяльності водних рослин необхідні в певних кількостях іони низки важких металів. Наприклад, марганець, мідь і цинк є учасниками і регуляторами метаболічних перетворень або входять до складу біологічних комплексів [1, 4]. Особливість цих металів полягає в тому, що в певних концентраціях вони щодо водоростей виявляють стимулюючу дію як мікроелементи, а при досягненні критичних рівнів накопичення є токсикантами і стають щодо них стресовими чинниками [1–3].

Одним з найчутливіших метаболічних процесів, що відіграє адаптивну роль у захисті водоростей від надлишку металів, але разом з тим може бути використаний для біотехнологічного отримання корисних продуктів, є біосинтез ліпідів [5, 6]. Раніше нами показано, що іони цинку та свинцю змінюють кількісний та якісний склад ліпідів у водних рослин шляхом структурно-функціональних перебудов у їхніх клітинах, насамперед мембранах [7, 8]. Проте невивченим є питання щодо впливу на ліпідний метаболізм у водоростей біологічно

адекватних концентрацій різних за хімічною природою та токсичністю іонів металів протягом біотехнологічно раціональних термінів їх дії.

Метою дослідження було з'ясувати регуляторний і токсичний вплив іонів марганцю, цинку, міді і свинцю на біосинтез ліпідів у *Chlorella vulgaris* Beijer.

Досліди проводили на одноклітинній зеленій водорості *Chlorella vulgaris* Beijer., культуру якої вирощували при температурі (20 ± 1) °С і освітленні 2500 лк у люменостаті в скляних колбах (250 дм³) на мінеральному середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема, що містив згідно з прописом крім інших катіонів 0,058 мг/дм³ Mn²⁺ і 0,023 мг/дм³ Zn²⁺ [8] і не містив іонів міді та свинцю. В експериментальних умовах до культури водорості додавали водні розчини MnSO₄, ZnSO₄ · 7H₂O, CuSO₄ · 5H₂O, Pb(NO₃)₂ з розрахунку на іон: Mn²⁺ — 0,2 мг/дм³ (кінцева концентрація — 0,25 мг/дм³); Zn²⁺ — 5,0 мг/дм³ (кінцева концентрація — 5,023 мг/дм³), Cu²⁺ — 0,002 мг/дм³, Pb²⁺ — 0,5 мг/дм³.

Період інкубації культури водорості із солями металів становив 3 і 7 діб. Концентрації іонів металів і тривалість їх дії вибирали, виходячи з раніше встановленої нами найбільшої вираженості структурно-метаболических перебудов у клітинах хлорели при вказаних концентраційно-часових градієнтах [7, 8] з урахуванням їх молярної токсичності для водоростей [9]. Контрольними були рослини, які росли у культуральному середовищі без додавання солей металів в експериментальних кількостях.

Інтенсивність біосинтезу ліпідів оцінювали за включенням [1-¹⁴C]-ацетату натрію при 20 °С і освітленні 2500 лк протягом 120 хв. Після зупинення реакції трихлороцтовою кислотою ліпіди екстрагували, розділяли на фракції методом тонкошарової хроматографії на скляних пластинках з силікагелем L 5/40 у системі гексан — діетиловий ефір — льодяна оцтова кислота (70 : 30 : 1) і кількісно визначали за методикою Нічолса (Nichols) в модифікації [8]. Кількість неполярних ліпідів визначали біхроматним методом на спектрофотометрі при довжині хвилі 615 нм, а вміст фосфоліпідів після їх мінералізації при 180 °С — за кількістю неорганічного фосфору [8].

Радіоактивність зразків вимірювали на сцинтиляційному лічильнику LS-100C “Beckman” (США) і виражали в імп/(хв · мг).

Визначення хлорофілів у суспензії водоростей здійснювали спектрофотометрично за диференціальними спектрами їх поглинання [10].

Одержані експериментальні дані опрацьовували методами варіаційної статистики.

У клітинах хлорели, культуру якої культивували в середовищі із солями досліджуваних металів, вміст ліпідів за дії Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ і Pb²⁺ зростає на 47, 15, 33 і 32% відповідно порівняно з контрольними показниками (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст триацилгліцеролів (ТАГ), діацилгліцеролів (ДАГ), фосфоліпідів (ФЛ), неетерифікованих жирних кислот (НЕЖК) і загальний вміст ліпідів у *Chlorella vulgaris* Beijer. за дії Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ та Pb²⁺

Умови культивування	Загальна маса ліпідів, мг	Маса ліпідів окремих класів, мг			
		ТАГ	ДАГ	ФЛ	НЕЖК
Контроль	9,11 ± 1,13	1,86 ± 0,17	1,50 ± 0,19	4,35 ± 0,56	1,40 ± 0,15
Mn ²⁺ , 3 доби	13,40 ± 1,31*	3,54 ± 0,36*	3,38 ± 0,38*	3,81 ± 0,31*	2,67 ± 0,26*
Zn ²⁺ , 7 діб	10,47 ± 1,10*	2,83 ± 0,28*	1,59 ± 0,19	3,32 ± 0,16	2,74 ± 0,28*
Cu ²⁺ , 3 доби	12,10 ± 1,05*	2,72 ± 0,37*	2,64 ± 0,21*	4,66 ± 0,49	2,08 ± 0,24
Pb ²⁺ , 7 діб	12,02 ± 1,73*	2,52 ± 0,25*	2,57 ± 0,25*	4,42 ± 0,47	2,52 ± 0,25*

* $p < 0,05 - 0,001$ за t -критерієм Стьюдента (по відношенню до контролю).

Щодо фракційного складу, то вміст триацилгліцеролів (ТАГ), діацилгліцеролів (ДАГ) і неестерифікованих жирних кислот (НЕЖК) збільшується за дії Mn^{2+} на 90, 125 і 91%, за дії Zn^{2+} — на 53, 6 і 96%, за дії Cu^{2+} — на 46, 76 і 49%, за дії Pb^{2+} — на 36, 71 і 80% відповідно. Вміст фосфоліпідів (ФЛ) за дії Mn^{2+} і Zn^{2+} зменшується на 12 і 24%, а за дії Pb^{2+} і Cu^{2+} — збільшується на 1,6 і 7% відповідно порівняно з контролем. Разом з тим дещо інакше змінюється співвідношення відносного вмісту ТАГ : ДАГ : ФЛ : НЕЖК, %: у контролі — 22 : 16 : 47 : 15; за дії Mn^{2+} (3 доби) — 27 : 25 : 28 : 20; за дії Zn^{2+} (7 діб) — 26 : 16 : 33 : 25; за дії Cu^{2+} (3 доби) — 22 : 22 : 39 : 17; за дії Pb^{2+} (7 діб) — 21 : 21 : 37 : 21. За дії Mn^{2+} відносний вміст ТАГ, ДАГ і НЕЖК зростає на 23, 56 і 33% відповідно і лише вміст ФЛ зменшується на 40%. За дії Zn^{2+} відносний вміст ТАГ і НЕЖК збільшується на 18 і 67% відповідно, ДАГ — залишається незмінним, а ФЛ — зменшується на 30%. Відносний вміст ТАГ за дії Cu^{2+} не змінюється, ДАГ і НЕЖК — збільшується на 38 і 13% відповідно, а ФЛ — зменшується на 17%. За дії Pb^{2+} частка ТАГ і ФЛ зменшується на 4,5 і 21% відповідно, а ДАГ і НЕЖК — збільшується на 31 і 40% відповідно.

Підвищення абсолютного вмісту ТАГ у всіх випадках та їх відносної частки за дії марганцю і цинку відбувається внаслідок необхідності ущільнення клітинних мембран як захисного механізму на їх токсичну дію [8], що узгоджується з даними про зростання вмісту ТАГ в клітинах хлорели при стресових ситуаціях до 80% їх сухої біомаси [11]. Збільшення вмісту ДАГ та, відповідно, НЕЖК за стресової дії пояснюється активацією ліпаз і фосфоліпаз [6].

ФЛ, як складові біологічних мембран, впливають на їх пластичність і текучість, формують мікросередовище для мембранних ферментів, іонні канали, а також регулюють зв'язок клітин із середовищем їх існування [12]. Тому вміст ФЛ за дії всіх досліджених іонів металів зменшується, що можна пояснити їх участю у зв'язуванні металів і їх виведенні з метаболічного пулу завдяки високій абсорбційній здатності цих ліпідів [13].

Вміст НЕЖК є показником посиленого синтезу омилених ліпідів або їх розщеплення, що залежить від спрямованості метаболізму [6]. У цілому збільшення вмісту НЕЖК при дії досліджуваних металів є наслідком розщеплення фосфоліпідів, вміст яких, як зазначалося, зменшується.

Одержані дані підтверджуються при вивченні інтенсивності включення ^{14}C -ацетату в ліпіді різних класів (табл. 2). Інтенсивність включення ^{14}C -ацетату за дії Mn^{2+} в ТАГ, ФЛ і НЕЖК зменшується на 9, 2,5 і 17% відповідно, а в ДАГ — збільшується на 11% проти контролю. За дії Zn^{2+} включення ^{14}C -ацетату в ТАГ, ФЛ, НЕЖК збільшується на 6, 30 і 1,5% відповідно, в ДАГ — істотних змін не відбувається. Включення мітки за дії Cu^{2+} зменшується в ТАГ на 4% і збільшується в ФЛ і НЕЖК на 18 і 6% відповідно. За дії

Таблиця 2. Включення ^{14}C -ацетату в ліпіді *Chlorella vulgaris* Beijer. за дії Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} та Pb^{2+}

Умови культивування	Включення ^{14}C -ацетату в ліпіді різних класів, імп/(хв · мг)			
	ТАГ	ДАГ	ФЛ	НЕЖК
Контроль	87,17 ± 6,79	82,50 ± 6,61	65,00 ± 7,94	81,17 ± 7,78
Mn^{2+} , 3 доби	79,25 ± 12,52	91,50 ± 12,14	63,42 ± 5,64	67,68 ± 9,76
Zn^{2+} , 7 діб	92,50 ± 4,33	83,00 ± 8,23	84,50 ± 6,36*	82,33 ± 3,62
Cu^{2+} , 3 доби	84,06 ± 10,64	83,12 ± 7,52	76,52 ± 13,31	85,98 ± 3,82
Pb^{2+} , 7 діб	79,25 ± 3,18	78,17 ± 9,04	78,33 ± 14,75	90,50 ± 2,29

* $p < 0,05$ за t -критерієм Стьюдента (по відношенню до контролю).

Pb²⁺ включення мітки в ТАГ і ДАГ зменшується на 9 і 5%, а в ФЛ і НЕЖК — збільшується на 21 і 11% відповідно проти контролю.

Отже, за дії Zn²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ спостерігається тенденція до зростання включення міченого ацетату в ФЛ, а за дії Mn²⁺ — в ДАГ з одночасним зниженням включення мітки в ліпіди інших класів. Отримані дані свідчать про те, що зростання вмісту ТАГ і ДАГ є не стільки наслідком їх синтезу *de novo*, скільки перерозподілом у клітині, що має місце в процесі адаптивної перебудови мембран у відповідь на дію іонів металів [8]. Досліджені іони, крім Mn²⁺, очевидно активують тільки синтез ФЛ, хоча їх відносна частка порівняно з ліпідами інших класів знижується, можливо, у зв'язку з участю у зв'язуванні цих іонів [13].

Оскільки синтез ліпідів у рослин відбувається переважно в хлоропластах [6], становило інтерес дослідження вмісту хлорофілів (табл. 3). Як свідчать одержані експериментальні дані, вміст хлорофілів *a* і *b* за дії Zn²⁺ збільшується на 121 і 69%, за дії Pb²⁺ — на 152 і 73% відповідно, а за дії Cu²⁺ вміст обох пігментів знижується на 57%, за дії Mn²⁺ — на 31 і 42% відповідно порівняно з контролем. Вплив іонів цинку на вміст хлорофілів можна пояснити його високою проникністю, рухливістю в клітині та комплексоутворюючою здатністю, а іонів свинцю — високою спорідненістю до білків і міцним утримуванням ними цього металу у складі металгтіонеїноподібних комплексів [4]. Підвищені концентрації іонів цинку і міді впливають на вміст фотосинтезних пігментів, виділення і поглинання CO₂, а причиною пригнічення фотосинтезу є порушення електрон-транспортного ланцюга і окислювального фосфорилування [2, 4, 9]. Так, більш електронегативні іони цинку, кадмію і свинцю інгібують електронний транспорт, а електропозитивні іони міді і ртуті прискорюють його [14]. Іони міді менш рухливі у рослинних клітинах і можуть зв'язуватися з клітинними стінками, а також утворювати комплекси з низькомолекулярними органічними речовинами і білками [4]. Вважають також, що мідь здатна заміщувати магній у молекулі хлорофілу, внаслідок чого порушується світлоконцентраційна функція пігментної системи [2].

Зниження вмісту хлорофілів за дії марганцю можна пояснити підвищеною активністю ферменту хлорофілази, що руйнує пігмент [15]. Це також може бути пов'язано зі зв'язуванням Mn²⁺ з ендогенними хелаторами — переносниками Fe²⁺ до місць їх включення в метаболізм порфіринів або вибірково заміщенням іонами марганцю іонів заліза в активних центрах низки ферментів, у тому числі тих, що беруть участь у синтезі тетрапіролів [2].

Співвідношення хлорофілів *a/b* в цілому має тенденцію до зростання. Разом з тим за дії Mn²⁺, Zn²⁺ і Pb²⁺ цей показник зростає на 19, 30 і 46% відповідно, а за дії Cu²⁺ — істотно не змінюється. Загалом, зростання кількості та переважання хлорофілу *a* над хлорофілом *b* співвідноситься із загальною тенденцією до зростання за дії досліджених металів вмісту ліпідів у хлоропластах [7], де вони переважно синтезуються, та адаптивною відповіддю

Таблиця 3. Вміст хлорофілів *Chlorella vulgaris* Beijer. за дії Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ та Pb²⁺

Умови культивування	Вміст хлорофілів, мкг/дм ³		Співвідношення <i>a/b</i>
	<i>a</i>	<i>b</i>	
Контроль	273,29 ± 27,47	183,27 ± 14,36	1,49
Mn ²⁺ , 3 доби	188,42 ± 17,38*	106,72 ± 11,42**	1,77
Zn ²⁺ , 7 діб	603,94 ± 62,62**	310,63 ± 23,83**	1,94
Cu ²⁺ , 3 доби	118,69 ± 14,53***	79,05 ± 8,18***	1,5
Pb ²⁺ , 7 діб	687,83 ± 51,31**	317,00 ± 27,69**	2,17

* $p < 0,005$; ** $p < 0,002$; *** $p < 0,001$ за *t*-критерієм Стьюдента (по відношенню до контролю).

фотосинтезного апарату клітин водяних рослин на токсичний стрес, викликаний іонами металів [2, 4].

Щодо зміни досліджуваних показників метали виявляють різноспрямовану дію. Так, зростання вмісту ТАГ у клітинах хлорели відбувається в ряду за дії Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , ДАГ — за дії Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , ФЛ — за дії Pb^{2+} , Cu^{2+} , НЕЖК — за дії Cu^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} . Включення міченого ацетату в ТАГ зростає лише за дії Zn^{2+} , у ДАГ — максимально зростає за дії Mn^{2+} , у ФЛ — за дії Zn^{2+} , в НЕЖК — за дії Pb^{2+} . За дії іонів міді і марганцю вміст хлорофілів знижується, а вміст ТАГ і ДАГ — зростає. Ці ефекти можуть бути пов'язані з переміщенням синтезу ліпідів цих класів з хлоропластів у цитоплазму, що спостерігається за стресового впливу на рослини різних чинників і має адаптивне значення [6].

Ступінь впливу іонів окремих металів може бути пов'язаний з рівнем їх токсичності. Значний вплив іонів міді на досліджені показники у хлорели співвідноситься з їх місцем у ряді токсичності металів для водоростей — $Hg > Cu > Cd \sim Pb > Fe > Cr > Zn > Co > Mn$ [9]. Для свинцю, цинку і марганцю прямого зв'язку між ступенем їх впливу на ліпідний метаболізм у хлорели і місцем у ряді токсичності не встановлено, бо при використаних концентраціях, що відповідають показникам токсичності для марганцю 2,5 ГДК, міді 2 ГДК, для цинку і свинцю 5 ГДК [9], зміни ліпідного складу були близькими — загальний вміст ліпідів, вміст ТАГ, ДАГ і НЕЖК зростає незалежно від рівня токсичності та концентрації досліджених іонів металів. Відмінності впливу металів, скоріше, пов'язані не з їх концентрацією та часом дії, а визначаються їх хімічною природою, токсичністю та механізмами дії [5]. Одним з головних механізмів дії металів є стійкість їх халатів, що утворюються внаслідок зв'язування їх надлишку рослинами з утворення комплексів з функціональними групами різних органічних сполук, стабільність яких визначається рядом стійкості Ірвінга–Вільямса — $Cd \sim Mn < Co < Zn < Ni < Cu < Pb < Hg$ [4]. Ступінь хелатування металів впливає на рухливість іонів у клітині і дію на молекули-мішені, наприклад, цинку — на ферменти дихання водних рослин [2], міді — на фотосистему II [14], свинцю — на метаболізм білків та утворення металтіонеїнів [3, 4].

Отже, іони досліджених металів спричиняють різноспрямовані зміни ліпідного складу клітин хлорели, що, ймовірно, пов'язано з різними механізмами їх дії на метаболізм клітин та його адаптивні перебудови, спрямовані на зменшення токсичного впливу металів. Разом з тим за дії досліджених металів має місце тенденція до накопичення ліпідів і посилення синтезу окремих їх класів, особливо ТАГ, ДАГ, і зростання вмісту НЕЖК. Це є проявом формування захисних систем у клітинах від токсичної дії металів на рівні мембран [8] і може бути використано для регуляції біосинтезу ліпідів у біотехнологічних умовах культивування водоростей. Найяскравіші ефекти щодо ліпідного обміну виявляють іони марганцю та цинку, що вибірково стимулюють синтез і накопичення окремих біотехнологічно важливих класів ліпідів.

1. Дмитриева А. Г., Кожанова О. Н., Дронина Н. Л. Физиология растительных организмов и роль металлов. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2002. – 160 с.
2. Пасічна О. О. Газообмін та пігментна система макрофітів за дії іонів міді (II) і марганцю (II) водного середовища: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Київ, 2004. – 24 с.
3. Боднар О. І. Адаптивні властивості водоростей за дії іонів металів: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Київ, 2008. – 22 с.
4. Влияние тяжелых металлов на растения и механизмы защиты / Растение и стресс. Курс лекций. – Екатеринбург, 2008. – С. 215–232. – Режим доступа: http://elar.usu.ru/bitstream/1234.56789/1508/7/1333214_program.pdf.

5. Rozentsvet O. A., Bosenko E. S., Guschina I. A. Effect of heavy metals upon lipid metabolism in *P. perforliatus* // 16th Intern. Plant Lipid symp. Budapest, 1–4 June 2004. – Budapest: Budapest University of Economic Sciences, 2004. – P. 202–204.
6. Schmid K. M., Ohlrogge J. B. Lipid metabolism in plants // Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes / Ed. D. E. Vance, J. E. Vance. – Amsterdam: Elsevier, 2002. – P. 93–126.
7. Горда А. И. Регуляция биосинтеза липидов у *Chlorella vulgaris* Beijer. ионами цинка и свинца // III Междунар. конф.-шк. “Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов”, Петрозаводск, 22–26 июня 2010 г. – Петрозаводск: Институт биологии Карельского научного центра РАН, 2010. – С. 40–42.
8. Костюк К., Грубінко В. Вплив іонів цинку, свинцю та дизельного палива на ліпідний склад мембран клітин водних рослин // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2010. – Вип. 54. – С. 257–264.
9. Давыдова С. Л., Тагасов В. И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. – Москва: Россия молодая, 2002. – 140 с.
10. Оцінка стану водоймищ шляхом визначення пігментів фітопланктону // Методичний посібник з визначення якості води / Ред. В. Д. Романенко. – Київ: Інститут гідробіології НАН України, 2005. – С. 16–19.
11. Верещакін А. Г. Биохимия триглицеридов. – Москва: Наука, 1972. – 307 с.
12. Abbas C. A., Card G. L. The relationship between growth temperature, fatty acid composition and the physical state and fluidity of membrane lipids in *Yersinia enterocolitica* // Biochim. et Biophys. Acta. – 1980. – **602**, No 3. – P. 469–476.
13. Wang L., Zhou Q., Chua H. Contribution of Cell Outer Membrane and Inner Membrane to Cu²⁺ Adsorption by Cell Envelope of *Pseudomonas putida* 5-x // J. Environ. Sci. and Health. Pt. A. – 2004. – **39**, No 8. – P. 2071. – 2080.
14. Поліщук А. В., Топчий Н. Н., Сытник К. М. Влияние ионов тяжелых металлов на перенос электронов на акцепторной стороне фотосистемы II // Доп. НАН України. – 2009. – № 6. – С. 203–210.
15. Howe P., Malcolm H., Dobson S. Manganese and Its Compounds: Environmental Aspects. – Geneva: World Health Organization, 2004. – 70 p.

Тернопільський національний педагогічний
університет ім. Володимира Гнатюка

Надійшло до редакції 25.02.2011

A. I. Gorda, V. V. Grubinko

Biosynthesis of lipids in *Chlorella vulgaris* Beijer. under the action of Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, and Pb²⁺

We study the influence of Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, and Pb²⁺ on the intensity of biosynthesis of lipids in unicellular algae Chlorella vulgaris Beijer. In all cases, there is a general tendency to the accumulation of triacylglycerols, diacylglycerols, and nonesterified fatty acids, which participate in protecting the cages of algae from an unfavorable action, and to a decrease of the content of phospholipids. For the actions of Zn²⁺, Cu²⁺, and Pb²⁺, ¹⁴C-acetate is maximally included in phospholipids, for the actions of Mn²⁺ – in diacylglycerols, and the synthesis of other classes of lipids is inhibited. The content of chlorophylls a and b grows substantially for the actions of ions of zinc and lead and diminishes for the actions of ions of copper and manganese. We discuss the regulatory role and the toxic influence of ions of metals on the lipid metabolism in chlorella.