

165. Хлорофіл, гемоглобін. Порівняння

В. О. Чернорай¹

¹Група ІПС-31, курс 3, факультет кібернетики
Vlada2002Vlada2001@gmail.com

Хлорофіл. Хлорофіл (від грец. , «зелений» і , «лист») — зелений пігмент, що фарбує хлоропласти рослин у зелений колір. За його участі відбувається фотосинтез. За хімічною будовою хлорофіли є магнієвими комплексами різних тетрапіролів.

Хлорофіл присутній у всіх фотосинтезуючих організмах - вищих рослинах, водоростях, синьозелених водоростях (ціанобактеріях), фотоавтотрофних найпростіших (протистах) і бактеріях.

Деякі рослини, у тому числі низку вищих рослин, втратили хлорофіл (як, наприклад, петрів хрест).

У процесі фотосинтезу молекула хлорофілу зазнає змін, поглинаючи світлову енергію, яка потім використовується у фотохімічній реакції взаємодії вуглекислого газу та води з утворенням органічних речовин (як правило, вуглеводів)

Після передачі поглиненої енергії молекула хлорофілу повертається у вихідний стан.

Хоча максимум безперервного спектру сонячного випромінювання розташований у «зелений» області 550 нм (де знаходиться і максимум чутливості ока), поглинається хлорофілом переважно синє, частково – червоне світло із сонячного спектру (чим і обумовлюється зелений колір відбитого світла).

Рослини можуть використовувати і світло з тими довжинами хвиль, які слабо поглинаються хлорофілом. Енергію фотонів при цьому вловлюють інші фотосинтетичні пігменти, які потім передають енергію хлорофілу. Цим пояснюється різноманітність фарбування рослин (та інших фотосинтезуючих організмів) та її залежність від спектрального складу падаючого світла.

• Формула хлорофілу : $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

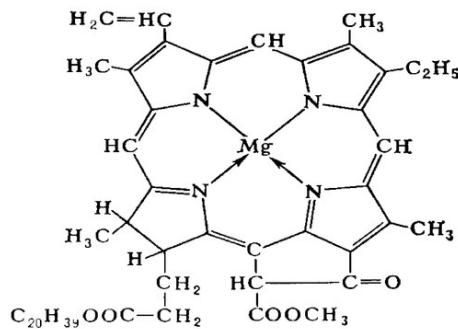


Рис. 1: Молекула хлорофілу.

Хлорофіли можна розглядати як похідні протопорфірину – порфірину з двома карбоксильними замісниками (вільними або етерифікованими). Так, хлорофіл А має карбоксиметилу групу при С10, фітоловий ефір пропіонової кислоти при С7. Видалення магнію, що легко досягається м'якою кислотною обробкою, дає продукт, відомий як феофітин. Гідроліз фітолового ефірного зв'язку хлорофілу призводить до утворення хлорофілід (хлорофілід, позбавлений атома металу, відомий як феофорбід А).

Всі ці сполуки інтенсивно забарвлені і сильно флуоресцирують, крім тих випадків, коли вони розчинені в органічних розчинниках в строго безводних умовах. Вони мають характерні спектри поглинання, придатні для якісного та кількісного визначення складу пігментів. Для цієї ж мети часто використовуються дані про розчинність цих сполук в соляній кислоті, зокрема для визначення наявності або відсутності етерифікованих спиртів. Хлороводневе число визначається як концентрація соляної кислоти, коли з рівного

обсягу ефірного розчину пігменту екстрагується 2/3 загальної кількості пігменту. "Фазовий тест фарбування зони розділу фаз - проводять, підшаровуючи під ефірний розчин хлорофілу рівний обсяг 30%-го розчину гідрооксиду калію в MeOH. В інтерфазі має утворюватися забарвлене кільце. За допомогою тонкошарової хроматографії можна швидко визначати хлорофіл у сирих екстрактах.

У 1817 року Жозеф Бьенеме Каванту і П'єр Жозеф Пеллетье виділили із листя рослин зелений пігмент, який вони як раз таки і назвали хлорофіллом. У 1900-х роках Михайло Колір та Ріхард Вільштеттер незалежно виявили, що хлорофіл складається з кількох компонентів. Вільштеттер очистив і кристалізував два компоненти хлорофілу, названі ним хлорофілами А та В і встановив брутто-формулу хлорофілу А. У 1915 році за дослідження хлорофілу йому було вручено Нобелівську премію. У 1940 році Ханс Фішер, встановив хімічну структуру хлорофілу А, його синтез було вперше здійснено в 1960 Робертом Вудвордом, а в 1967 було остаточно встановлено його стереохімічна структура.

Хлорофіл зареєстрований як харчова добавка E140.

Гемоглобін. Гемоглобін (від грец. «кров» + лат. globus «куля») — складний залізовмісний білок тварин, що мають кровообіг, здатний оборотно зв'язуватися з киснем, забезпечуючи його перенесення в тканини. В медицині використовують скорочене позначення цього показника — Hb (латинські літери). У хребетних тварин міститься в еритроцитах, у більшості безхребетних розчинений у плазмі (еритрокрурин) і може бути присутнім в інших тканинах. Молекулярна маса гемоглобіну людини – близько 66,8 кДа. Молекула гемоглобіну може нести до чотирьох молекул кисню. Один грам гемоглобіну може переносити до 1,34 мл кисню.

Емпірична хімічна формула найбільш поширеного людського гемоглобіну C₂₉₅₂H₄₆₆₄N₈₁₂O₈₃₂S₈Fe₄.

Гемоглобін з'явився більш ніж 400 мільйонів років тому у останнього загального предка людини і акул в результаті 2 мутацій, що призвели до формування чотириккомпонентного комплексу гемоглобіну, спорідненість якого до кисню достатньо для зв'язування кисню в насиченому їм середовищі, але недостатньо, щоб утримувати його в інших.

Головні функції гемоглобіну: перенесення кисню та буферна функція. У людини в капілярах легень в умовах надлишку кисню, останній з'єднується з гемоглобіном, утворюючи оксигемоглобін. Поток крові еритроцити, що містять молекули гемоглобіну зі зв'язаним киснем, доставляються до органів та тканин, де кисню мало; тут необхідний для протікання окисних процесів кисень звільняється від зв'язку з гемоглобіном. Крім того, гемоглобін здатний зв'язувати в тканинах невелику кількість (близько 1/3) діоксиду вуглецю (CO₂) утворюючи карбгемоглобін і звільняти його в легенях (2/3 вуглекислого газу переноситься в розчиненому вигляді або у вигляді солей плазмою крові та цитоплазмою еритроцитів).

Монооксид вуглецю (CO) зв'язується з гемоглобіном крові набагато сильніше (250 разів), ніж кисень, утворюючи карбоксигемоглобін (HbCO). Втім, монооксид вуглецю може бути частково витіснений із гемоглобіну при підвищенні парціального тиску кисню у легенях. Деякі процеси (наприклад, нітратами, нітритами, аніліном, піридином) призводять до окислення іона заліза в гемоглобіні до рівня окислення +3. В результаті утворюється форма гемоглобіну, відома як метгемоглобін (HbOH). В обох випадках блокуються процеси транспортування кисню.

Нормальним вмістом гемоглобіну в крові людини вважається: у чоловіків – 130-160 г/л (нижня межа – 120, верхня межа – 180 г/л), у жінок – 120-160 г/л; у дітей нормальний рівень гемоглобіну залежить від віку і схильний до значних коливань. Так, у дітей через 1-3 дні після народження нормальний рівень гемоглобіну максимальний і становить 145-225 г/л, а до 3-6 місяців знижується до мінімального рівня - 95-135 г/л, потім з 1 до 18 років відзначається поступове збільшення нормального рівня гемоглобіну у крові.

Під час вагітності в організмі жінки відбувається затримка та накопичення рідини, що є причиною гемодилуції – фізіологічного розведення крові. В результаті спостерігається відносно зниження концентрації гемоглобіну (при вагітності рівень гемоглобіну в нормі становить 110-155 г/л). Крім цього, у зв'язку з внутрішньоутробним зростанням дитини відбувається швидке витрачання запасів заліза та фолієвої кислоти. Якщо до вагітності у жінки був дефіцит цих речовин, проблеми, пов'язані зі зниженням гемоглобіну, можуть виникнути вже на ранніх термінах вагітності.

Гемоглобін є складним білком класу гемопротейнів, тобто як простетична група тут виступає гем - порфіринове ядро, що містить залізо. Гемоглобін людини є тетрамером, тобто складається з 4 протомерів. У дорослої людини вони представлені поліпептидними ланцюгами 1, 2, 1 та 2. Субодиниці з'єднані одна з одною за принципом ізологічного тетраедра. Основний внесок у взаємодію субодиниць роблять гідрофобні взаємодії. І -, і -ланцюги відносяться до -спірального структурного класу, оскільки містять виключно -спіралі. Кожен ланцюг містить вісім спіральних ділянок, що позначаються літерами від А до Н (від N-кінця до C-кінця).

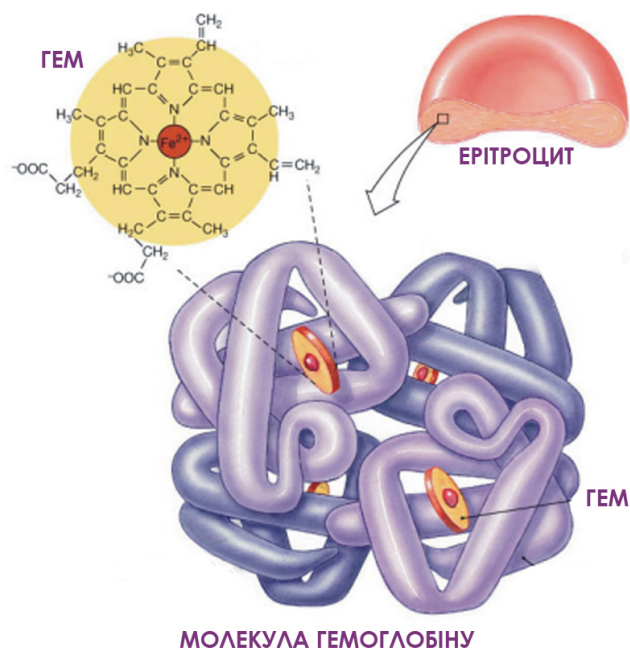


Рис. 2: Молекула гемоглобіну.

Гем є комплексом протопорфірину IX, що відноситься до класу порфіринових сполук, з атомом заліза(II). Цей кофактор нековалентно пов'язаний з гідрофобною западиною молекул гемоглобіну та міоглобіну.

Залізо(II) характеризується октаедричною координацією, тобто пов'язується із шістьма лігандами. Чотири їх представлені атомами азоту порфіринового кільця, що у одній площині. Дві інші координаційні позиції лежать на осі перпендикулярної площині порфірину. Одна з них зайнята азотом залишку гістидину в 93 положенні поліпептидного ланцюга (ділянка F). Молекула кисню, що зв'язується гемоглобіном, координується до заліза зі зворотного боку і виявляється укладеною між атомом заліза і азотом ще одного залишку гістидину, що розташовується в 64-му положенні ланцюга (ділянка E).

Загалом у гемоглобіні людини чотири ділянки зв'язування кисню (по одному гему на кожен субодиницю), тобто одночасно може зв'язуватися чотири молекули. Гемоглобін у легенях при високому парціальному тиску кисню з'єднується з ним, утворюючи оксигемоглобін. При цьому кисень з'єднується з гемом, приєднуючись до заліза гема на 6 координаційний зв'язок. На цей зв'язок приєднується і монооксид вуглецю, вступаючи з киснем в «конкурентну боротьбу» за зв'язок з гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін.

Зв'язок гемоглобіну з монооксидом вуглецю міцніший, ніж з киснем. Тому частина гемоглобіну, що утворює комплекс із монооксидом вуглецю, не бере участь у транспорті кисню. У нормі у людини утворюється 12% карбоксигемоглобіну. Підвищення його рівня притаманно гемолітичних процесів, у зв'язку з цим рівень карбоксигемоглобіну є показником гемолізу.

На відміну від міоглобіну гемоглобін має четвертинну структуру, яка надає йому здатність регулювати приєднання та відщеплення кисню та характерну кооперативність: після приєднання першої молекули кисню зв'язування наступних полегшується. Структура може бути у двох стійких станах (конформаціях): оксигемоглобін (містить 4 молекули кисню; напружена конформація) і дезоксигемоглобін (кисню не містить; розслаблена конформація).

Стійкий стан структури дезоксигемоглобіну ускладнює приєднання до нього кисню. Тому для початку реакції необхідний достатній парціальний тиск кисню, що можливо в легеневи́х альвеолах. Зміни в одній із 4 субодиниць впливають на ті, що залишилися, і після приєднання першої молекули кисню зв'язування наступних полегшується.

Віддавши кисень тканинам, гемоглобін приєднує себе іони водню і вуглекислий газ, переносячи в легкі.

Великий внесок у дослідження структури та функціонування гемоглобіну зробив Макс Фердинанд Перуц, який отримав за це в 1962 році Нобелівську премію.

Порівняння хлорофілу та гемоглобіну: схожість

В молекулі гемоглобіну чотири гемо, точніше - протомерів (вони з'єднані між собою водневими зв'язками). Тобто певна кількість білка; чотири атоми заліза. Гемоглобін - це майже точна копія хлорофілу, а хлорофіл дуже близький до ціанокобаламіну.

Хлорофіл входить до складу хлоропластів (зелений пігмент, завдяки якому відбувається фотосинтез - утворення органічних речовин на світлі).

Тобто можна зробити такий висновок:

1. Хлорофіл і гемоглобін є двома природними пігментами.
2. Вони мають схожу структуру.
3. Крім того, обидва мають чотири піррольні кільця.
4. Крім того, вони складаються з однакових елементів; С, Н, О та Н.
5. Понад те, обидва необхідні життєвих процесів.
6. Крім того, процеси за участю хлорофілу та гемоглобіну обробляють кисень та вуглекислий газ.

Порівняння хлорофілу та гемоглобіну: різниця Основна відмінність між хлорофілом та гемоглобіном полягає в тому, що хлорофіл є фотосинтетичним пігментом, присутнім у рослинах та інших фотосинтезуючих організмах, у той час як гемоглобін є дихальним пігментом, присутнім у крові людини.

Біологічні пігменти потрібні для життєвих процесів. Вони мають характерний колір. Деякі з них зеленого кольору, а деякі червоного, оранжевого та жовтого кольору. Хлорофіл є основним пігментом рослинного життя. Потрібно виробництво продуктів в організмі за допомогою фотосинтезу. З іншого боку, гемоглобін є червоним пігментом, присутнім у крові людини. Це дихальний пігмент, який транспортує кисень та поживні речовини по всьому організму людини. Хоча хлорофіл і гемоглобін присутні у двох різних типах організмів, вони мають схожу структуру. Однак центральним елементом є значна різниця між хлорофілом та гемоглобіном. Магній є центральним елементом хлорофілу, а залізо – центральним елементом гемоглобіну.

Хлорофіл – це пігмент зеленого кольору, присутній у фотосинтезуючих організмах, таких як рослини, водорості та ціанобактерії. З іншого боку, гемоглобін є респіраторним пігментом, що є присутнім в еритроцитах хребетних. Таким чином, це ключова відмінність між хлорофілом та гемоглобіном. Ще одне різницю між хлорофілом і гемоглобіном — центральний іон, у якому будуються інші елементи. Хлорофіл містить іон магнію, а гемоглобін - іон заліза.

Література

- [1] Билич Г. Л., Крыжановский В. А. Биология. Полный курс
- [2] <https://raznisa.ru/raznica-mezhdu-hlorofillom-i-gemoglobinom/>
- [3] Mathews, CK; van Holde, KE Ahern, KG (2000), Biochemistry
- [4] Levitt, M Chothia, Structural patterns in globular proteins, Nature