

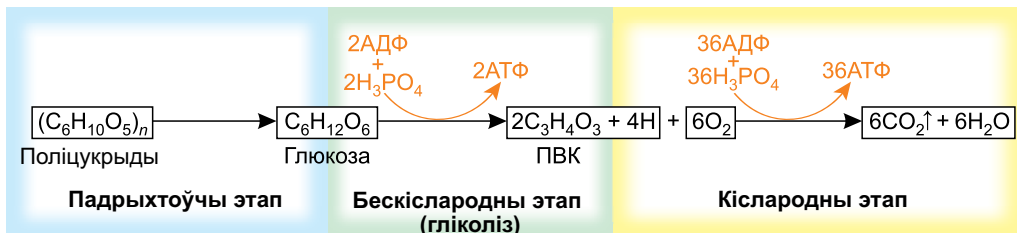
§ 21. Клетачнае дыханне. Браджэнне

Паняцце пра клетачнае дыханне. Жывым арганізмам пастаянна патрабуецца энергія для ажыццяўлення розных працэсаў жыццядзейнасці. Універсальным пастаўшчыком гэтай энергіі служыць АТФ, якая ўтвараецца ў рэакцыях катабалізму. У большасці арганізмаў АТФ сінтэзуецца перш за ўсё ў працэсе клетачнага дыхання. **Клетачнае дыханне** — працэс, пры якім у клетках адбываецца расшчапленне і акісленне арганічных злучэнняў да неарганічных рэчываў, а энергія, якая выдзяляецца пры гэтым, запасаецца ў выглядзе АТФ.

Большасці жывых арганізмаў для працякання клетачнага дыхання неабходны малекулярны кісларод (O_2). Такія арганізмы называюцца *аэробамі*, а іх тып дыхання — *аэробным дыханнем*. Аэробамі з'яўляюцца ўсе расліны, большасць жывёл, грыбоў і пратыстаў, а таксама многія бактэрыі. Разгледзім, як адбываецца клетачнае дыханне ў аэробных умовах, г. зн. ва ўмовах свабоднага доступу кіслароду.

Этапы клетачнага дыхання. Працэс клетачнага дыхання ўключае тры асноўныя этапы (мал. 55). Першы этап — **падрыхтоўчы** — адбываецца ў стрававальным тракце (у жывёл), другасных лізасомах і гіялаплазме клетак. Кісларод у рэакцыях гэтага этапу не выкарыстоўваецца. Пад дзеяннем стрававальных ферментаў адбываецца расшчапленне буйных арганічных малекул да больш простых злучэнняў. Так, поліцукрыды расшчапляюцца да монацукрыдаў, тлушчы — да гліцэрыны і тлустых кіслот, бялкі — да амінакіслот, нуклеінавыя кіслоты — да нуклеатыдаў. Пры гэтым вылучаецца параўнальна невялікая колькасць энергіі, якая рассеіваецца ў выглядзе цяпла. Такім чынам, АТФ у падрыхтоўчым этапе **не сінтэзуецца**.

Прадукты першага этапу могуць уступаць у наступныя этапы дыхання (г. зн. падлягаць далейшаму расшчапленню) або ўцягвацца ў працэсы анабалізму. Напрыклад, амінакіслоты, атрыманыя ў ходзе падрыхтоўчага этапу, выкарыстоўваюцца клеткамі пераважна для сінтэзу бялкоў, а нуклеатыды — для пабудовы малекул ДНК і РНК.



Мал. 55. Схема этапаў клетачнага дыхання

Другі этап клетачнага дыхання — **бескіслародны** — працякае ў гіялаплазме клетак без удзелу кіслароду. Больш за тое, ён можа працякаць ва ўмовах поўнай адсутнасці O_2 . Вы ведаеце, што асноўнай крыніцай энергіі для клетак з'яўляецца глюкоза. Таму другі этап мы разгледзім на прыкладзе **гліколізу** — шматступеньчатага працэсу бескіслароднага расшчаплення *глюкозы* ($C_6H_{12}O_6$) да *піравінаграднай кіслаты* ($C_3H_4O_3$).

У ходзе гліколізу кожная малекула глюкозы пад дзеяннем ферментаў расшчапляецца да 2 малекул піравінаграднай кіслаты (ПВК). Пры гэтым вызваляецца энергія, частка якой рассяваецца ў выглядзе цяпла, а астатняя выкарыстоўваецца для сінтэзу АТФ. Сумарны энергетычны выхад гліколізу ў разліку на расшчэпленую малекулу глюкозы складае **2 малекулы АТФ**. Прамежкавыя прадукты гліколізу акісляюцца — ад іх адшчапляюцца атамы вадароду, якія далучаюцца да асаблівага рэчыва-пераносчыка.

Такім чынам, у выніку бескіслароднага этапу пры расшчапленні адной малекулы глюкозы ўтвараецца 2 малекулы ПВК і 4 атамы вадароду (далучаныя да пераносчыка), а таксама сінтэзуюцца 2 малекулы АТФ (гл. мал. 55).

Пры гліколізе вызваляецца толькі каля 5 % энергіі, якая ўтрымлівалася ў хімічных сувязях малекул глюкозы. Далей прадукты яе расшчаплення (ПВК і атамы вадароду) паступаюць у мітахондрыі, дзе ажыццяўляецца заключны этап дыхання — **кіслародны**.

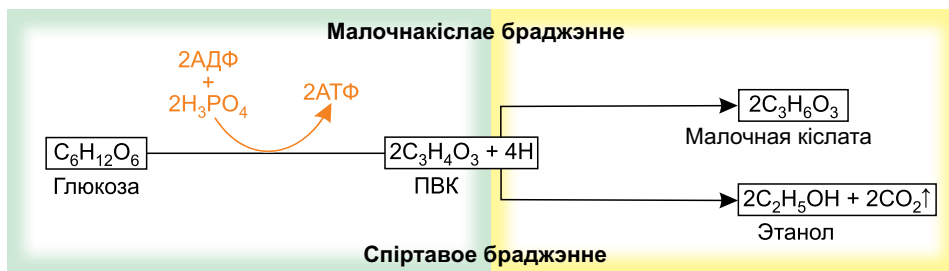
Гэты этап, як вынікае з назвы, працякае пры ўдзеле малекулярнага *кіслароду* (O_2). У ходзе кіслароднага этапу ПВК расшчапляецца і акісляецца пад дзеяннем ферментаў. Атамы вадароду, дастаўленыя пераносчыкам, таксама акісляюцца. Пры гэтым утвараюцца канчатковыя прадукты — CO_2 і H_2O , а энергія, якая выдзелілася, выкарыстоўваецца для сінтэзу **36 малекул АТФ** (у разліку на 2 малекулы ПВК). CO_2 паступае з мітахондрыі у гіялаплазму клеткі, а затым — у навакольнае асяроддзе (гл. мал. 55).

Такім чынам, пры поўным расшчапленні адной малекулы глюкозы клетка можа сінтэзаваць **38 малекул АТФ** — 2 малекулы ў працэсе гліколізу і 36 малекул у ходзе кіслароднага этапу. Сумарнае ўраўненне поўнага акіслення глюкозы можна запісаць наступным чынам (для спрашчэння ва ўсіх ураўненнях рэакцый энергетычнага абмену не паказаны малекулы вады, якія ўтвараюцца пры сінтэзе АТФ):



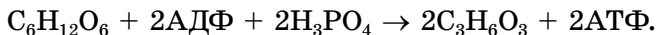
Браджэнне. Не ўсім арганізмам для жыццядзейнасці неабходны малекулярны кісларод. Акрамя аэробаў, існуюць таксама *анаэробы* — арганізмы, здольныя жыць і развівацца ў адсутнасці O_2 . Да гэтай групы належаць многія бактэрыі, некаторыя пратысты, грыбы (напрыклад, дрожджы) і жывёлы (смактуны, стужачныя чэрві, аскарыды і інш.).

Большасць анаэробных арганізмаў атрымлівае энергію для жыццядзейнасці ў ходзе браджэння. **Браджэнне** — працэс бескіслароднага расшчаплення арганічных рэчываў, пераважна вугляводаў, які адбываецца пад дзеяннем ферментаў. Пры дэфіцыце кіслароду браджэнне можа працякаць і ў клетках аэробных арганізмаў. У залежнасці ад асноўнага канчатковага прадукту адрозніваюць малочнакіслае, спіртавое браджэнне (мал. 56) і г. д.



Мал. 56. Схема малочнакіслага і спіртавага браджэння

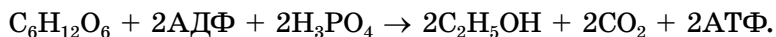
Першы этап **малочнакіслага браджэння** фактычна ўяўляе сабой гліколіз. Малекула глюкозы расшчапляецца і акісляецца з утварэннем 2 малекул ПВК і 4 атамаў вадароду. Энергетычны выхад гэтага працэсу, як вы ведаеце, складае 2 малекулы АТФ. На другім этапе за кошт атамаў вадароду ПВК аднаўляецца да *малочнай кіслаты* ($C_3H_6O_3$), АТФ пры гэтым не сінтэзуецца. Працэс малочнакіслага браджэння можна адлюстравачь агульным ураўненнем:



Гэты від браджэння ажыццяўляюць малочнакіслыя бактэрыі. Акрамя таго, малочнакіслае браджэнне адбываецца ў мышачных валокнах чалавека і жывёл ва ўмовах недахопу кіслароду. Назапашванне малочнай кіслаты з'яўляецца адной з прычын развіцця стомленасці мышцаў.

Спіртавое браджэнне на першым этапе працякае аналагічна малочнакісламу. Глюкоза расшчапляецца і акісляецца да ПВК і атамаў вадароду, што суправаджаецца сінтэзам 2 малекул АТФ. На другім этапе ПВК расшчапляецца і аднаўляецца атамамі вадароду. Пры гэтым утвараюцца

канчатковыя прадукты — *этылавы спірт* (C_2H_5OH) і вуглякіслы газ. Сумарнае ўраўненне спіртавога браджэння такое:



Спіртавое браджэнне ажыццяўляюць дрожджы і некаторыя бактэрыі. Таксама яно працякае ў клетках раслін пры дэфіцыце O_2 .



§21-1

Пры браджэнні не адбываецца поўнага акіслення глюкозы, таму значная частка энергіі застаецца ў канчатковых прадуктах — малочнай кіслата, этылавым спірце і інш. Энергетычны выхад браджэння — **2 малекулы АТФ** (з разліку на адну малекулу глюкозы). Таму пры расшчапленні аднолькавай колькасці вугляводаў у ходзе энергетычнага абмену анаэробы атрымліваюць значна менш энергіі, чым аэробы.

Галоўнай крыніцай энергіі для жывых арганізмаў з'яўляюцца вугляводы, таму працэсы катабалізму мы разгледзелі на прыкладзе расшчаплення глюкозы. Аднак іншыя арганічныя злучэнні, напрыклад тлушчы ці бялкі, таксама могуць служыць клеткам у якасці крыніц энергіі.

Браджэнне са старажытных часоў выкарыстоўваецца чалавекам для атрымання розных прадуктаў. Вядома, што піваварэннем і вінаробствам, у аснове якіх ляжыць спіртавое браджэнне, людзі займаліся яшчэ 8 тыс. гадоў таму. Безумоўна, у той час яны не ведалі, што гэтыя працэсы працякаюць пры ўдзеле мікраарганізмаў.

У сучасным свеце браджэнне шырока выкарыстоўваецца ў харчовай прамысловасці. Прадукты і напіткі, атрыманыя з дапамогай розных відаў браджэння, уваходзяць у састаў практычна ўсіх кухань свету. Спіртавое браджэнне ўжываецца для атрымання этылавага спірту, віна, піва, квасу і г. д. Выкарыстанне дражджэй у хлебапечэнні звязана з тым, што пупырыкі вуглякіслага газу, які ўтвараецца ў працэсе спіртавога браджэння, разрыхляюць цеста і робяць яго пышным.

З дапамогай малочнакіслага браджэння атрымліваюць тварог, сыры, смятану, ёгурты і іншыя кісламалочныя прадукты. Малочная кіслата — добры прыродны кансервант. Яна ўтвараецца, напрыклад, пры квашэнні капусты, засолцы агуркоў, мачэнні яблыкаў. Малочная кіслата прадухіляе гніенне гэтых прадуктаў і дазваляе захоўваць іх доўгі час. У аснове сіласавання кармоў для жывёл таксама ляжыць працэс малочнакіслага браджэння. Вытворчасць некаторых прадуктаў звязана са спалучэннем розных відаў браджэння. Так, кефір атрымліваюць з дапамогай малочнакіслых бактэрый і дражджэй, г. зн. ён з'яўляецца прадуктам малочнакіслага і спіртавога браджэння.

Трэба адзначыць, што з XX ст. працэсы браджэння знайшлі ўжыванне для прамысловай вытворчасці шэрага хімічных рэчываў — розных спіртоў і карбонавых кіслот, ацэтона, воцатнага альдэгіду і інш.



§21-1



Большасць арганізмаў атрымлівае энергію для жыццядзейнасці ў ходзе клетачнага дыхання. Гэты працэс уключае тры этапы: падрыхтоўчы, бескіслародны і кіслародны. У выніку клетачнага дыхання кожная малекула глюкозы акісляецца да CO_2 і H_2O , што суправаджаецца сінтэзам 38 малекул АТФ. Некаторыя арганізмы атрымліваюць энергію ў працэсе брадзжэння. Пры гэтым не выкарыстоўваецца кісларод і не адбываецца поўнага акіслення глюкозы. Таму энергетычны выхад брадзжэння значна меншы, чым клетачнага дыхання: 2 малекулы АТФ на кожную расшчэпленую малекулу глюкозы. Адрозніваюць малочнакіслае, спіртавое і іншыя віды брадзжэння.



1. Клетачнае дыханне і брадзжэнне належаць да працэсаў катабалізму ці анабалізму? Чаму?
2. Што ўяўляе сабой працэс клетачнага дыхання? Ахарактарызуйце этапы клетачнага дыхання па плане: 1) назва этапу; 2) месца працякання; 3) зыходныя рэчывы; 4) канчатковыя прадукты; 5) энергетычны выхад (колькасць малекул АТФ, якія сінтэзуюцца ў ходзе этапу).
3. Як працякае працэс малочнакіслага брадзжэння? Спіртавага? Назавіце канчатковыя прадукты гэтых відаў брадзжэння. Колькі малекул АТФ сінтэзуюцца ў ходзе брадзжэння пры расшчэпленні адной малекулы глюкозы?
4. Ахарактарызуйце практычнае значэнне розных відаў брадзжэння.
5. Чаму пры брадзжэнні вызваляецца менш энергіі, чым пры клетачным дыханні?
- 6*. У чым заключаецца падабенства брадзжэння і клетачнага дыхання? Чым брадзжэнне адрозніваецца ад клетачнага дыхання?
- 7*. У падрыхтоўчы этап клетачнага дыхання ўступае 81 г глікагену. Якая максімальная колькасць АТФ (моль) можа сінтэзавацца ў выніку наступнага глікалізу? У ходзе кіслароднага этапу дыхання?



Вывучэнне Дыхання насення
Малочнакіслае брадзжэнне
Спіртавое брадзжэнне



§ 22. Фотасінтэз

У адрозненне ад гетэратрофаў, якім неабходны гатовыя арганічныя злучэнні, аўтатрофы здольныя сінтэзаваць іх з неарганічных рэчываў. Працэсы біясінтэзу належаць да пластычнага абмену і, значыць, суправаджаюцца паглыннаннем энергіі. З курса біялогіі 10-га класа вам вядома, што некаторыя бактэрыі (жалезабактэрыі, бясколерныя серабактэрыі, нітрыфікучыя, вадародныя) для ўтварэння арганічных