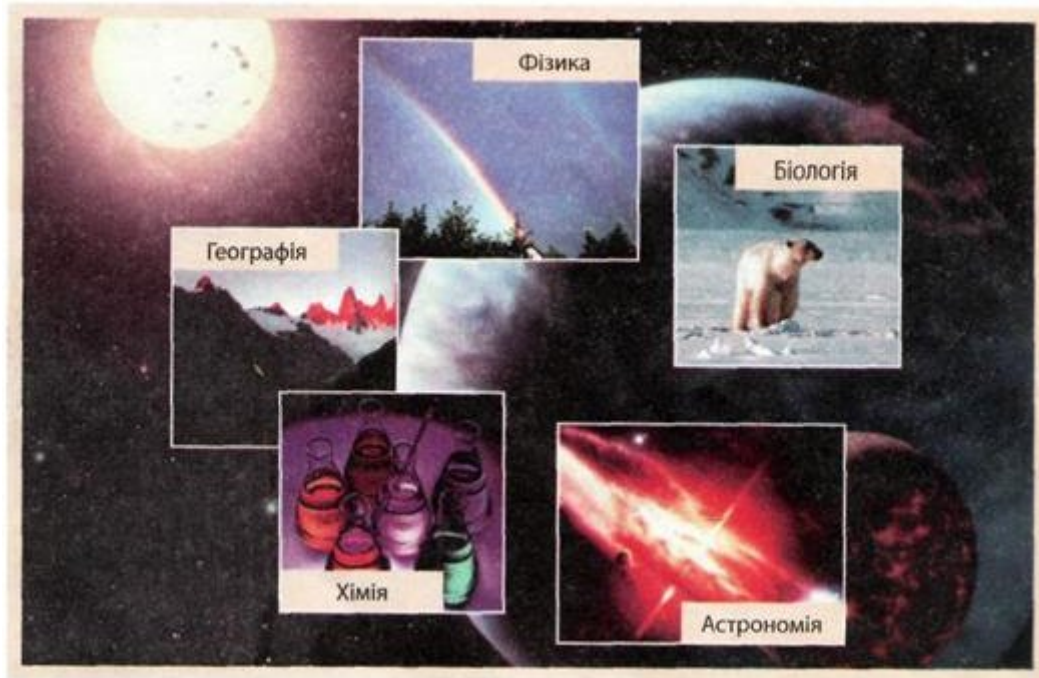


ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ
ЧЕРКАСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ІНСТИТУТ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ПЕДАГОГІЧНИХ
ПРАЦІВНИКІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ РАДИ

Л.І. Даниленко

**ІНТЕГРАЦІЯ ЗНАНЬ У ПРОФІЛЬНОМУ
НАВЧАННІ БІОЛОГІЇ
(10-11 КЛАСИ)**
Навчально-методичний посібник



Черкаси

2014

ББК 74.262

Д 18

Рекомендовано до друку Вченою радою ЧОПОПП.

Протокол №2 від 28 травня 2014 року

Автор:

Даниленко Л.І., методист лабораторії природничо-математичних дисциплін Черкаського обласного інституту післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради

Рецензенти:

Волошенко О. В., доцент кафедри педагогіки Черкаського обласного інституту післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради, кандидат педагогічних наук;

Громова Т.В., учитель біології Черкаської спеціалізованої школи І-ІІІ ступенів №33 ім. В. Симоненка Черкаської міської ради, вчитель-методист

Д 18 Даниленко Л.І. Інтеграція знань у профільному навчанні біології (10-11 класи): навчально-методичний посібник./ Л.І.Даниленко. – Черкаси: ЧОПОПП, 2014. – 72 с.

Навчально-методичний посібник створено відповідно до чинної програми.

Посібник містить пізнавальні й творчі задачі до таких розділів: «Молекулярний рівень організації живої природи», «Клітинний рівень організації живої природи», «Організмовий рівень організації живої природи», «Надорганізмові рівні організації живої природи». Їх можна використовувати під час засвоєння нового матеріалу, оцінювання навчальних досягнень учнів з біології та під час підготовки до учнівських предметних олімпіад.

Крім того, у посібнику вміщено теоретичні відомості про сучасні дослідження в галузі біофізики, які суттєво посилять мотивацію навчання, розвиватимуть інтерес до цієї науки та сприятимуть глибокому засвоєнню біологічного та фізичного матеріалу, а також інтелектуальному розвитку особистості.

Посібник призначений для вчителів та учнів природничо-математичного напрямку навчання загальноосвітніх та спеціалізованих шкіл, ліцеїв.

©ЧОПОПП, 2014.

Передмова	4
Методичні рекомендації щодо розв’язування пізнавальних задач	9
Вступ. Методи біологічних досліджень	11
Розділ I. Молекулярний рівень організації живої природи	12
Живі системи. Живе і інформація.....	13
Тема 1. Неорганічні речовини. Вода в живому організмі.....	16
Тема 2. Органічні речовини.....	29
Розділ II. Клітинний рівень організації живої природи	30
Тема 1. Загальний план будови клітин. Поверхневий апарат. Ядро.....	30
Електричні явища в живих організмах.....	34
Тема 2. Цитоплазма клітин.....	37
Тема 3. Клітина як цілісна система.....	57
Обмін речовин і енергії в клітині – енергетичний і пластичний обмін.....	57
Розділ III. Організмний рівень організації живої природи	61
Тема 2. Одноклітинні організми.....	61
Розділ IV. Надорганізмні рівні організації живої природи	62
Тема 1. Популяція. Екосистема. Біосфера.....	62
Література	71

ПЕРЕДМОВА

Практичний досвід вчителів, які викладають предмети природничого циклу показує, що пізнання живих організмів як об'єктів біології та фізики підсилює, насамперед, мотивацію навчання, розвиває інтерес до біологічних та фізичних знань, сприяє глибокому засвоєнню біофізичного матеріалу та всебічному розвитку особистості.

На цей час необхідність інтеграції знань у шкільній освіті залишається і досі однією з нерозв'язаних питань. Багатопредметність навчального плану, слабкі зв'язки наукових дискурсів (міркувань), представлених у змісті предметів природничого циклу, розрив між знаннями й особистістю та інші причини призвели до фрагментарності освіти.

Разом з тим, у сучасних умовах формування особистості, яка володіє різнобічними знаннями, визнано головною метою діяльності освітніх навчальних закладів. Досягнення цілісності загальної освіти, зв'язок організаційно-процесуальних, предметно-змістових і особистісно-розвиваючих компонентів стає першочерговим педагогічним завданням.

Це завдання не є новим, і у різні періоди становлення вітчизняної освіти розв'язувалось по-різному. Так, досить відомі і давно використовуються у навчанні дидактична теорія і методика міжпредметних зв'язків (внутріциклових і міжциклових). Однак зараз їм на зміну прийшла інтеграція (часткова, блочна, повна, об'єктна, понятійна, методологічна, внутріпредметна, метапредметна), яку вважають сучасним етапом розвитку інтегративних процесів у загальній освіті. Як педагогічний феномен інтеграція проявляється у всіх компонентах освітніх систем: від створення навчального закладу інтегрованого типу (ноосферні школи, школи глобальної освіти, школи діалогу культур) до інтегрованого уроку. Основними напрямками інтеграції стали взаємодія каналів інформаційного зв'язку учнів зі світом в його єдності і багатоманітності, інтеграція на рівні засвоєння учнями різних способів осягнення світу, створених різними науками, мистецтвом та життєвим досвідом.

Розробка способів інтеграції компонентів освітніх систем лише починає розвиватися у вітчизняній загальній освіті. Навіть в інноваційній практиці інтеграція на сьогодні представлена в основному навчальними програмами інтегративних загальноосвітніх й елективних курсів, в кращому випадку системою інтегративних уроків. Разом з тим, доведено, що цілісності освіти можна досягти не стільки знаннями, отриманими від впровадження в освітній процес інтегрованих форм навчання, скільки розробкою змісту інтегративного знання і способів роботи з ним безпосередньо з кожного навчального предмету. Біологічна освіта виступає частиною загальної природничо-наукової підготовки учнів, формування у них екологічної свідомості і стереотипів здорового способу життя. Біологія, на відміну від інших навчальних предметів, здатна забезпечити пізнання учнями однієї з найвищих форм руху матерії – біологічної, яка вміщує в собі хімічну й фізичну форми, а також зв'язану через людину із соціальною формою матерії. На жаль, доводиться констатувати, що на цей час біологічні знання, які пропонують учням для засвоєння, носять частково-предметний характер, містять елементи редукціонізму базуються в

основному на описовому підході до процесів, які відбуваються в природі. Розгляд біологічної форми руху матерії передбачає формування у людини особливої форми відношень до навколишнього світу і самого себе, до своєї власної діяльності в ньому, суб'єктизації набутих знань на основі їх особистісного усвідомлення. Ключове поняття у цьому процесі – формування відношення людини до природи, основані на її розумінні не як відчуженої і протиставленої людині у своїй об'єктивності, а як несучої на собі відображення суб'єктності людської діяльності. Тобто природа по відношенню до людини в умовах розвитку інтегративної тенденції гуманітаризації загальної освіти виступає як «суб'єктивований об'єкт» (М.С. Каган). Тому, говорячи про результати сприйняття і наукового вивчення учнями природи як об'єкта, потрібно вести мову не про сукупність визначених наукових понять як продуктах теоретичного мислення у свідомості особистості і не про почуття й емоції, які пов'язані з переживаннями пізнавального досвіду, а саме про цілісний образ природи, який створюється за допомогою мислення й уявлення.

Для учнів, які навчаються у класах природничо-математичного напрямку, живі організми є об'єктом всебічного вивчення, тому у профільній підготовці учнів виникає потреба у цілісних природничо-наукових знаннях.

Біологія, фізика й хімія – це фундаментальні природничі науки, що входять до структури природничо-наукового пізнання, які розкривають цілісність пізнання реального світу.

Засвоєння їх учнями і складає один із аспектів формування цілісності змісту природничо-наукової освіти. Але природничо-наукові знання, отримані учнями з профільних предметів, розглядаються досить однобічно з точки зору лише однієї з наук, що не дозволяє створити єдину й без протиріч картину світу. Ця проблема потребує корекції у викладанні навчального матеріалу у профільних класах природничо-математичного напрямку, тому що лише взаємопов'язане вивчення предметів природничого циклу забезпечує цілісність змісту профільної освіти.

Перед вчителями біології виникає перше питання, а саме: як в умовах профільного навчання, що передбачає поглиблене вивчення навчальних предметів біології і хімії, забезпечити достатні знання непрофільного предмета фізики? Зазначимо, що природничо-наукова освіта тісно пов'язана не лише з біологічною, хімічною освітою, а й фізичною. По-перше, живі об'єкти є частиною природи і тому вони підлягають усім основним законам фізики. По-друге, життя – це особлива, біологічна форма руху матерії, яка є синтезом усіх, більш простих по відношенню до неї форм руху матерії (хімічної і фізичної). По-третє, живе представляє собою взаємодіючі складним чином часточки матерії – молекули і атоми. Тому, розвиток біологічних, хімічних і фізичних знань у напрямку цілісного знання про біологічний об'єкт – об'єктивна закономірність розвитку наук. У свій час К.А. Тімірязев, у своїх наукових працях відмічав, що фізіологом можна стати лише тоді, коли досконало володієш фізичними і хімічними знаннями. Ця проблема взаємопов'язана з розв'язанням комплексу завдань профільного навчання, а саме: забезпечити

наступність між загальною і професійною освітою, більш ефективно підготувати випускників школи до засвоєння програм вищої професійної освіти.

Виходить, що з непрофільного предмета вчитель повинен дати учням таку базу, яка дозволяє їм при вступі до вищих навчальних закладів природничого профілю швидко засвоювати на високому якісному рівні не лише нові розділи відомих предметів, але й нові галузі знань, що не входять до програми профільного навчання учнів.

Друга проблема полягає в тому, що формування цілісності змісту природничо-наукової освіти у профільних класах передбачає збільшення обсягу інформації. У цій ситуації виникає необхідність пошуку нових форм організації навчально-виховного процесу, що забезпечують підвищення рівня засвоєння конкретних природничо-наукових знань. При цьому треба пам'ятати, що нові якісні характеристики набувають лише добре організовані і структурно витримані знання. Образно висловлюючись, великий обсяг логічно неструктурованої інформації породжує свого роду «ентропію» у думках учнів. Тому, для успішного розв'язання вищезначених проблем у профільних класах природничо-математичного напрямку найбільш доцільним є використання модульного принципу побудови навчального процесу. Саме модульне навчання дозволяє поєднувати різні підходи до відбору природничо-наукового змісту, його представлення і способам організації навчального процесу; долати фрагментарність навчання шляхом створення цілісної програми і проблемної подачі змісту в модулі. Для нього є характерним високий рівень адаптивності, яка відображається у способах організації навчально-пізнавальної діяльності. Така проблема, як великий обсяг самостійної роботи учнів, при модульному навчанні компенсується інноваційними формами і методами активного навчання, які дозволяють активізувати й диференціювати пізнавальну діяльність учнів з врахуванням індивідуальних потреб учнів. Усвідомленість навчальної діяльності переводить вчителя з режиму інформування у режим консультування й управління.

Одним із варіантів розв'язання завдання підвищення цілісності змісту природничо-наукової освіти в умовах профільного навчання – модульна побудова індивідуального маршруту. Наприклад, викладаючи матеріал теми «Основні властивості біосистем: ієрархічність структурної організації, цілісність, відкритість, здатність до саморегуляції, розвитку, адаптації та самовідтворення» вчитель має здійснити взаємозв'язок біологічних, фізичних й синергетичних знань, розглядаючи живий організм як відкриту біологічну систему, здатну до саморегуляції і самоорганізації. Треба зазначити, що біологічні системи є головним об'єктом дослідження синергетики, одним із завдань якої є виявлення універсального механізму самоорганізації у живій природі, що супроводжується інтенсивним обміном речовин, енергією й інформацією з оточуючим середовищем.

Загальновідомо, що у біологічних науках всі знання пронизані ідеями рівневої організації живого, універсального еволюціонізму, коеволюції природи

і суспільства. У наявності передумова для інтеграції біологічних знань з іншими природничо-науковими, соціальними і гуманітарними знаннями, які складають узагальнену їх форму – наукову картину світу. Вона в умовах інформаційного вибуху дозволяє вчителю, а з його допомогою і учням, не лише орієнтуватися у різноманітній інформації, але й раціонально нею керувати. Продуктивна у цьому сенсі ідея, яка запропонована В.Р. Ільченко. Так, використання наукової картини світу для інтеграції змісту освіти пов'язано з вивченням учнями на уроках біології, фізики, хімії і фізичної географії загальних законів природи. Для учнів зміст наукової картини світу при цьому вміщує закони збереження (енергії, маси, електричного заряду), закони, які визначають спонтанний перебіг природних процесів до найбільш вірогідного, врівноваженого стану (другий закон термодинаміки, закон необерненості еволюції, закони спадковості, закони існування екосистем); закони періодичності, повторності явищ у природі (періодичний закон, закон біогенної міграції атомів, закон чергування напрямів еволюції, біогенетичний закон). У разі традиційного вивчення природничо-наукових предметів загальні закони природи не використовуються як наскрізні принципи формування цілісних знань.

Націленість навчання на пізнання учнями загальних законів природи обумовлює інтегративну тенденцію генералізації загальної освіти. Вона проявляється у збільшенні міри узагальненості засвоєних учнями знань, виокремлені у змісті предметів системних об'єктів, пізнання яких може бути здійснено з допомогою методів різних наук. Наприклад, таким системним об'єктом може бути людина. Традиційне її вивчення у курсі біології після рослин, бактерій, грибів, лишайників і тварин мимоволі створює в учнів уявлення про неї як ще про один біологічний вид. Разом з тим, багатомірність людини, її суб'єктність і включення у сам процес отримання знань, тобто у пізнання, породжує можливість побудови різних її образів, кожний з яких цілком може претендувати на цілісність. Кожна епоха або вчення в залежності від своїх світоглядних потреб акцентує увагу на потрібних їй характеристиках людини як специфічного об'єкт-суб'єкта. Причому у сучасному інформаційному суспільстві гостро відчувається незадоволеність сциєнтично орієнтованими конструкціями у поглядах на людину, її внутрішнього світу, рівноцінно як і необхідність у раціональному поясненні духовних феноменів соціального життя, що відображає глибинні запити нашої свідомості і менталітету. Вимога одухотворити образ людини, що створюється у свідомості учнів засобами навчальних предметів, є стійким віянням сучасної епохи. Розв'язання цих задач на рівні загальної середньої освіти в значній мірі пов'язано з викладанням курсів літератури, історії, права. Введення у зміст розділу «Людина і її здоров'я» дидактично адаптованого матеріалу із філософської антропології, соціальної екології, психології особистості і міжособистісних відносин дозволить на основі об'єктної інтеграції подолати «фізикалізм» і «хімізм» у вивченні людини, відірваність природничо-наукових

знань про людину від соціально-гуманітарних знань, сформувані в учнів більш повне уявлення про людину як про біопсихосоціокосмічну систему.

Для повноти засвоєння учнями наукової картини світу у шкільний курс біології необхідно включити елементи теорії пізнання, тобто поняття про науку як систему знань, історії отримання наукових знань (його генезисі), ролі практики як джерела знань і критерію істинності, принципах науково пізнання (емпіричного і теоретичного); основних формах наукового пізнання (науковий факт, гіпотеза, закон, теорія), методах пізнання і їх функцій (моделювання). Вищезначені елементи гносеологічних знань можуть бути сформовані в учнів при умові їх «нашарування» на предметні знання інших природничих навчальних предметів і деяких гуманітарних дисциплін. Тільки в такому випадку вони будуть сприяти розумінню учнями набутих знань, переводу їх у внутрішній план особистості, що складають основу її світосприйняття і світорозуміння.

Введення у зміст навчальних предметів гносеологічних знань обумовлює інтегративну тенденцію фундаменталізації загальної освіти. Її сутність полягає у звільненні учнів від обов'язкового засвоєння другорядних наукових фактів й понять і висунення на перший план фундаментальних знань і універсальних способів діяльності, зв'язаних з їх застосуванням на практиці. Так, для формування в учнів цілісного образу природи засобами шкільної біології у її змісті необхідно виділити фундаментальні наукові факти, закони і теорії із різних областей біологічних знань. За допомогою їх можливо створити педагогічні умови, коли перед учнями «розкриється» структурно-функціональна організація біологічних систем від молекулярно-генетичного до біосферного рівнів організації, онтогенез, еволюція, різноманіття видів та їх роль у природі, класифікація органічного світу. У сучасному суспільстві створені умови для культивування різних «наукових міфологем», знижується загальний рівень світоглядного горизонту, порушується цілісність світосприйняття і світорозуміння особистості, створені пустоти заповнюються псевдорелігійними і псевдонауковими «знаннями». У цих умовах фундаменталізацію знань про живу природу має забезпечити вивчення учнями вчення про еволюцію органічного світу і вчення про системно-рівневу організацію живої матерії. Ці «наріжні камені» сучасної науки про життя повинні стати тією основою, на якій буде оновлюватися зміст шкільного курсу біології, визначатися місце і значення морфологічного, систематичного і екологічного матеріалів, якими зараз надмірно насичена біологічна освіта, що неминуче відриває її зміст від іншої природничо-наукової підготовки учнів.

Треба зазначити, що вивчення наукової картини світу не обмежується лише пізнавальною функцією. Вона відіграє також ціннісну роль, що пов'язана з осмисленням учнями проявів законів природи, значення наукового знання для формування раціонального світогляду. Відомий вчений в галузі дидактики І.Я. Лернер у зв'язку з цим писав: «...наукову картину світу можна вважати засвоєною лише у тому випадку, коли людина вміє відповідні знання або елементи картини світу застосовувати у відповідних випадках як принцип і

метод самостійного осмислення дійсності»[]. Осмислення знання породжує його розуміння, а розуміння в свою чергу, слугує основою для формування системи поглядів і переконань особистості, тобто її світогляду, яке визначає поведінку і вчинки по відношенню до навколишньої природи, іншим людям і до самого себе. Таким чином, використання наукової картини світу для інтеграції здатне підвищити цілісність предметно-змістових, організаційно-процесуальних компонентів освіти, оскільки особистість за своєю природою цілісна і виступає вихідним початком інтегративних процесів.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ПІЗНАВАЛЬНИХ ЗАДАЧ

Під поняттям навчальна пізнавальна задача розуміють певну навчальну комбінацію, що описує явще і передбачає ряд дій, які приводять до відновлення зв'язків, розв'язанню протиріч і розв'язку задач в цілому.

Процес розв'язування будь-якої навчальної пізнавальної задачі являє собою певну послідовність дій: сприйняття і усвідомлення її змісту; виконання плану розв'язку; відповідь, перевірка; передбачені висновки.

Особливості навчальних пізнавальних задач з біології полягають в тому, що багато з них мають декілька шляхів роздумів.

Розв'язування біологічної задачі – це не тільки відповідь на питання, це система розумових дій на основі аналізу, роздумів, які розглядають описане явще і яка приводить до певної форми запису умови задачі, поступового її розв'язання, формулювання відповіді і передбачених висновків щодо явища, що розглядається.

При розв'язуванні задач за алгоритмом пропонують орієнтуватися за певною схемою.

Аналіз змісту задачі

*Схематичний запис умови задачі. Роздуми, що приводять до розв'язку
Відповідь Припущення (передбачувані висновки)*

При читанні умови задачі звертаємо увагу учнів на те явще, що описане у задачі і на те, що в умові є певні твердження і вимоги. У процесі пошуку навчальних пізнавальних задач важливе значення має передбачення результатів, до яких може привести пошук відповіді. Будь-яка навчальна пізнавальна задача з біології, що використовується у навчальному процесі, відбиває певне біологічне явще (або групу явищ).

Співвідношення між шуканими й відомими величинами знаходяться у цьому явищі. Для того, щоб знайти ці співвідношення, необхідно не тільки знати сутність явища, систему його параметрів, але й вміти ці параметри виділити, тобто аналіз задачі зводиться до виділення і аналізу явища.

Учні зазвичай найчастіше прагнуть відповісти на питання задачі коротко: так або ні, не розглядаючи явища. Важливо після читання і аналізу задачі коротко записати її умову, спробувати її усвідомити. Як правило, явще, що

розглядається містить кількісну й якісну характеристики. Тому спочатку визначають якісну характеристику явища, потім встановлюють кількісні зв'язки і співвідношення з величинами, які характеризують дане явище, розглядають, яким чином воно проявляється. Після цього визначають питання задачі.

Короткий запис умови задачі – це початковий етап абстрагування її змісту і переусвідомлення. Він може виглядати як загальноприйнятий скорочений запис, який застосовується при розв'язанні, наприклад, на математиці:

- *кількісні дані записуються у вигляді чисел, символів;*
- *якісні ознаки – у вигляді певної системи роздумів;*
- *практичні і експериментальні задачі записуються у вигляді системи роздумів, у деяких випадках із застосуванням схем дослідів.*

Допомога учителя полягає в тому, щоб забезпечити учнів максимальною самостійністю.

Найбільшу увагу необхідно приділяти оформленню задач. Умова задачі, пошук її розв'язання, відповідь, можливі припущення повинні бути відображені у зошитах. Обов'язково треба записати результати аналізу умови задачі. Традиційна словесна система роздумів не зовсім зручна, оскільки при цьому втрачається предмет обговорення, і тому при вивченні фізики, хімії прийнято схематичний запис умови задачі. Виділяються умови і вимоги задачі, об'єкти і їх характеристики, де доцільно, використовуються умовні позначки, колір, підкреслювання. Ці навички зустрічаються лише на уроках математики, фізики, хімії.

Шлях від з'ясування явища, що описується, до запису умови задачі, складання плану розв'язку, відповіді і припущення (можливого підсумку) індивідуальний для кожного учня. В одного він може бути коротким, тому що у ході аналізу задачі йому відома відповідь, інший «бачить» план розв'язку задачі, третій без спеціально організованого пошуку не може окреслити шлях розв'язку. Четвертий учень навіть не розуміє, з чого почати. Ось тому вмінню розв'язувати навчальні пізнавальні задачі необхідно навчати.

Схема запису пізнавальної задачі

Умова задачі (дано)	Розв'язок
<i>1. Явище</i>	<i>1. Уточнення відомих фактів або понять із умов задачі</i>
<i>2. Що лежить в основі явища (біологічне, хімічне, фізичне)</i>	<i>2. З'ясування біологічного сенсу задачі (про які ознаки говориться в ній). Який зв'язок між ними</i>
<i>3. Результат</i>	<i>3. Відповідь</i>
<i>Питання задачі</i>	<i>Передбачуваний висновок</i>

Учень повинен знати, що пізнавальна задача з біології має таку особливість, а саме: зміст орієнтовної основи, який входить до прийомів розв'язування задачі, нерідко лежить поза межами предмету. Тому учнів необхідно навчити виділяти явища, які описуються у задачі, виокремлювати його елементи, розуміти їх відношення. Специфічні особливості ситуації описаної у задачі повинні виступати для нього в якості орієнтовної основи, яка визначає шлях розв'язку задачі. Таким чином, учням пропонується самостійно прочитати задачу, здійснити аналіз під керівництвом вчителя, виділити явище, переформулювати і коротко записати умову, поставити запитання задачі, визначити систему роздумів, відповідь, сформулювати можливі припущення, висновки. Ці дії визначають сенс вивчення основних понять будь-якого предмета і зокрема біології.

Приклад розв'язку навчальної пізнавальної задачі

Відомий дослід, який показує наявність кореневого тиску. Однак, якщо поставити зрізані квіти у воду, то рівень води у вазі швидко знизиться, хоча коренів і немає. Чому?

Дано. 1. Рух води у рослині. 2. Надходження води за рахунок особливостей будови органів рослини. 3. Вода надходить у рослину. Чому?

Розв'язок. 1. Рух води у рослині. 2. Вода до рослини надходить за рахунок кореневого тиску, якщо наявні корені, а також за рахунок всисної сили клітин листків, які випаровують воду.

Відповідь. Вода надходить в рослину без коренів за рахунок всисної сили клітин, які випаровують воду.

Передбачуваний висновок. Вода надходить в рослину за рахунок складних фізіологічних процесів, які відбуваються в рослині.

ВСТУП

Методи біологічних досліджень

1. До елеватору під'їхала машина із зерном. Потрібно виявити, чи не пошкоджено зерно шкідником – зерновим довгоносоком. Робота одноманітна і тривала: лаборант набирає сотню зерен, розкладає їх і уважно розглядає, чи немає в них маленьких червів або слідів прогризенних ними ходів. Але тривалі й ретельні дослідження в страдну пору проводити ніколи. Як можна прискорити і удосконалити перевірку зерна?

Відповідь. Коли зерновий довгоносок гризе зерно, то при цьому виникають певні звуки. Звісно шум, який видає комаха, гризучи зерно, слабкий, але його можна почути при посиленні мікрофоном. Так, якщо піднести мікрофон до пошкодженого зерна, а ще краще засунути його у купу, то за звуком можна визначити довгоносика. На цей час вченими створений прилад, який дозволяє

визначити ушкодженість зерна шкідниками за звуками, які видають комахи у зернах.

2. Відомо, що для діагностики якості зерна використовують різні методи. Які методи вам відомі? Чи використовують, на цей час, вчені сучасні комп'ютерні технології при проведенні досліджень?

Відповідь. Для діагностики якості зерна використовують різні методи: візуальний огляд (надає обмаль інформації), біохімічні методи, при яких зерно руйнується, і рентгенографія (виявляє приховані дефекти без пошкодження зерна). Всі ці методи повільні і неефективні. Щоб прискорити контроль, вчені із Санкт-Петербурга О.М. Дем'янчук, Л.П. Великанов, О.О. Вейтцель і О.С. Зайцев запропонували перевести рентгенівську діагностику на поточний контроль і використовувати при цьому сучасні комп'ютерні технології. З'являється додатковий ефект: матеріал, що досліджується можна зразу сепарувати. Російські вчені зібрали унікальний банк даних про приховані дефекти насінного матеріалу, аналога якому немає в світі. На цей час продовжується робота над проектом експериментального зразка поточного сепаратора. Очікуваний результат – значне підвищення обсягу зерна, що діагностується при пропускній здатності не менше 60 тисяч зерен на годину.

РОЗДІЛ 1. МОЛЕКУЛЯРНИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Живі системи

3. Другий закон термодинаміки стверджує, що всі процеси в закритих, ізольованих від середовища системах спрямовані до зростання невпорядкованості. Однак живі системи здатні підтримувати свою впорядкованість і навіть збільшувати її. Чи суперечить життя другому закону термодинаміки?

Відповідь. Живі системи здатні до розподілу ентропії. Згідно із другим законом термодинаміки, у природі в цілому і в кожній ізольованій системі зокрема, ентропія завжди збільшується, але, оскільки величина ентропії характеризує ступінь невпорядкованості, впорядкованість завжди зменшується. Проте живі системи, витрачаючи енергію, не тільки підтримують властивий їм стан впорядкованості (ступінь організованості), але й збільшують його, наприклад, під час росту. І все ж, другий закон термодинаміки залишається в цьому випадку не порушеним, бо в результаті життєдіяльності організму в оточуючому середовищі приріст ентропії виявляється більшим, ніж її зменшення всередині організму (це і розділення ентропії). Адже живі істоти – не ізольовані, а відкриті системи.

Розглядаючи живі організми разом з оточуючим середовищем, ми відповідно до другого закону термодинаміки, зареєструємо зростання невпорядкованості. Зменшення її в живих організмах компенсується збільшенням у довкіллі.

Розглянемо це явище на прикладі тварин. Розкладаючи складні речовини, які потрапляють до них з їжею, на прості (CO_2 , H_2O та ін.), тварини отримують енергію, завдяки чому підвищують власну впорядкованість. Але водночас зростає неупорядкованість у середовищі: замість впорядкованих сполук до нього надходять простіші речовини і тепло (енергія у найнеупорядкованішій формі).

Живе і інформація

4. Подвійна спіраль ДНК, в якій записані всі дані про будову і роботу організму, багатьом здається вершиною впорядкованості. Говорять навіть про особливий порядок, притаманний живій матерії взагалі. Разом з тим, фізики висловлюють думку про те, що будь-яка біологічна система впорядкована не більше, ніж шматок гірської породи тієї ж ваги. І все-таки відмінність в упорядкованості живої і неживої природи є. Поясніть, у чому ж проявляється ця відмінність? Яким чином у біологічних системах виникає такий доцільний порядок?

Відповідь. Сучасна фізика дозволяє оцінити ступінь упорядкованості у будь-яких системах, включаючи і біологічні. Організм дорослої людини містить біля 150 г ДНК, що відповідає $3 \cdot 10^{23}$ нуклеотидів. Щоб створити єдину послідовність ДНК, необхідно приблизно $6 \cdot 10^{23}$ біт інформації. Це у 200 разів менше впорядкованості амінокислотних залишків у молекулах білків.

Відомо, що витрати енергії на утворення будь-якої органічної речовини супроводжується підвищенням упорядкованості (тобто, зниженням ентропії), що компенсують найпростіші хімічні процеси, наприклад, окиснення глюкози.

Таким чином, організм без зусиль створює складні структури – білки і нуклеїнові кислоти.

Відмінність упорядкованості живої і неживої природи полягає в тому, що інформація, яка міститься в ДНК, має сенс. Можна сказати, що вона слугує визначеній меті.

Як виникає такий доцільний порядок, можна продемонструвати на прикладі валізи з кодовим замком. Кодовий замок зазвичай складається з трьох чисел. Господар валізи, відправляючись у мандрівку, вибирає ці числа і вводить їх у вигляді коду в замок валізи. Три числа наповнюють одну з їх послідовностей смислом: вона дозволяє відкрити валізу, а інші – ні. Те ж саме відбувається і з нуклеїновими кислотами. Створити усвідомлену впорядкованість можна випадковою послідовністю трьох чисел, що була введена у замок валізи, інформації про те, що саме ці послідовності «кращі» за інших, просто не існувало. У впорядкованість був вкладений смисл, інформація була створена, непередбачуване перетворилось у неминуче, що само по собі і є творчістю.

Можливо, в основі будь-якої творчості лежить принцип запам'ятовування випадкового вибору. Для біологічних систем – систем з осмисленою впорядкованістю – визначальним стає не кількість, а якість, цінність інформації. Здатність створювати нову інформацію, надавати смисл впорядкованості – це, мабуть, обов'язкова властивість живої матерії.

Ґрунтуючись на таких міркуваннях, російський біофізик Л.О. Блюменфельд дав таке визначення життю: «Живими називаються самовідтворюючі системи, які здатні до створення інформації, безпосередньо або побічно впливаючи на їх відтворення».

5. У дії короткохвильового випромінювання на живий організм найбільший інтерес становить вплив ультрафіолетових променів на біополімери – білки й нуклеїнові кислоти. Які зміни викликає дія ультрафіолетових променів на ДНК і білки?

Відповідь. Молекули біополімерів містять кільцеві групи молекул, що містять Карбон і Нітроген, які інтенсивно поглинають випромінювання з довжиною хвилі 260-280 нм. Поглинена енергія може мігрувати ланцюгом атомів у межах молекули без істотної втрати, поки не досягне слабких зв'язків між атомами й не зруйнує зв'язок. Протягом такого процесу, який називається фотолізом, утворюються уламки молекул, що сильно впливають на організм. Так, наприклад, з амінокислоти гістидину утворюється гістамін – речовина, яка розширює кровоносні капіляри й збільшує їхню проникність. Крім фотолізу під дією ультрафіолетових променів у біополімерах відбувається денатурація. Під час опромінення світлом певної довжини хвилі електричний заряд молекул зменшується, вони злипаються й втрачають свою активність – ферментну, гормональну, антигенну.

Процеси фотолізу і денатурації йдуть паралельно й незалежно один від одного. Вони викликаються різними діапазонами випромінювання: промені 280-302 нм викликають головним чином фотоліз, а 250-265 нм – переважно денатурацію. Поєднання цих процесів визначає картину дії на клітину ультрафіолетових променів.

Найчутливіша до дії ультрафіолетових променів функція клітини – розподіл. Опромінення дозою 10^{-19} Дж/м² викликає припинення розподілу близько 90% бактеріальних клітин. Але зростання і життєдіяльність клітин при цьому не припиняється. Згодом відновлюється їхній розподіл. Щоб викликати загибель 90% клітин, пригнічення синтезу нуклеїнових кислот і білків, утворення мутацій, необхідно довести дозу опромінення до 10^{-18} Дж/м². Ультрафіолетові промені викликають у нуклеїнових кислотах зміни, які впливають на ріст, розподіл, спадковість клітин, тобто на основні прояви життєдіяльності.

Значення механізму дії на нуклеїнову кислоту пояснюється тим, що кожна молекула ДНК унікальна. ДНК – це спадкова пам'ять клітини. У її структурі зашифрована інформація про будову й властивості всіх клітинних білків. Якщо будь-який білок присутній у живій клітині у вигляді десятків і сотень однакових молекул, то ДНК зберігає інформацію про будову клітини в цілому, про характер і напрямок процесів обміну речовин у ній. Тому порушення у структурі ДНК можуть виявитися непоправними або призвести до серйозного порушення життєдіяльності.

6. Чи впливає тепловий рух частинок організму на зміну його спадкових ознак? Чому в навколишньому середовищі можна знайти безліч прикладів, коли спадкові ознаки передаються із покоління в покоління без змін?

Відповідь. Відомо, що ознаки організму передаються з покоління в покоління за допомогою молекул ДНК. Матрицею для побудови ДНК організмів наступного покоління є ДНК статевих клітин даного організму. Ділянка ДНК, яка містить інформацію про структуру одного білка, що відповідає за ту чи іншу ознаку в організмі, називається геном.

Якщо відбудеться зміна гена, генетична програма для наступних поколінь буде змінена, що може призвести до виникнення нових ознак організму – мутацій. Змінити ж структуру гена можна підведенням до нього енергії (тепловим рухом, випромінюванням, хімічними речовинами).

У живій клітині ДНК постійно перебуває в оточенні частинок.

Енергія теплового руху частинок за температури тіла організму значно менша, ніж енергія хімічного зв'язку атомів у молекулі ДНК.

7. Одним із головних шляхів передачі інформації між клітинами тварин є використання сигнальних молекул. А чи можливий обмін інформації між клітинами тварин за допомогою електромагнітних хвиль?

Відповідь. Так, дійсно, не виключено, що, крім хімічної взаємодії клітини обмінюються інформацією і за допомогою електромагнітних хвиль. Якщо в культуру клітин поруч із нормальною клітиною помістити заражену вірусом клітину, то в нормальній клітині можуть з'явитися симптоми зараження. Інформація в цьому разі передається слабкими електромагнітними хвилями різного діапазону. Як клітина сприймає цю інформацію, поки що невідомо, але є підстави вважати, що в даному процесі беруть участь мікротрубочки підмембранного комплексу.

8. Крім енергетичних і хімічних, величезну роль у біосфері відіграють інформаційні зв'язки. Живі істоти освоїли всі види інформації. Доведіть, на конкретних прикладах, що ефективність інформаційних зв'язків між живими істотами дуже висока.

Відповідь. Живі організми освоїли всі види інформації (світлову, звукову, хімічну, електромагнітну). Дійсно, вченими на численних експериментах, доведено високу ефективність інформаційних зв'язків. Так, самець тутового шовкопряда відчуває самицю на відстані 2 км. У цьому випадку відбувається передача електромагнітних сигналів, причому за типом, який батько кібернетики Н. Вінер назвав «тим, кого це стосується». Можливо, саме забрудненням інформаційного середовища, яке спричиняє діяльність людини, слід пояснювати загадкові випадки масового самогубства китів, що викидаються на сушу. Адже простір навколо Землі перенасичений штучними антропогенними джерелами електромагнітного поля.

Тема 1. Неорганічні речовини

Вода в живому організмі

9. У 1858 році знаменитий французький фізіолог Клод Бернар сформулював принцип сталості внутрішнього середовища організму – децю схожий на закон збереження маси – енергії для живих істот. Цей принцип трактується так: надходження до організму різних речовин повинно бути рівним їхньому виділенню. Зрозуміло, що і вживання води повинно дорівнювати витратам. Поясніть, яким чином людина витрачає воду?

Відповідь. Водні витрати організму врахувати досить важко, тому що чимала її частина припадає на долю так званих невідчутних витрат. Наприклад, вода у вигляді пару міститься у повітрі, що ми вдихаємо – це приблизно 400 мл на добу. Біля 600 мл на добу її випаровується з поверхні шкіри. Небагато води виділяють і слізні залози (і не лише тоді, коли ми плачемо: рідина, яку вони виділяють постійно омиває очне яблуко); вода також витрачається з краплями слини при розмові, кашлі і т. ін. Інші шляхи виділення води краще піддаються обліку: це 800-1300 мл на добу, що виділяються із сечею і біля 200 мл – з фекаліями. Якщо скласти всі перераховані числа, то виходить біля 2-2,5 л; це число, середнє, тому що витрати води можуть коливатися в залежності від зовнішніх умов, індивідуальних особливостей обміну або внаслідок його порушення.

Відповідно цього і добова потреба організму дорослої людини щодо води складає в середньому біля 2,5 л. Це зовсім не означає, що людина повинна кожного дня випивати не менше 10 стаканів води: основна частина вжитої нами води міститься в їжі.

Частина води утворюється безпосередньо в організмі в процесі життєдіяльності – при розщепленні білків, жирів і вуглеводів (ендогенна вода). Наприклад, при окисненні 100 г жирів утворюється 107 мл води, 100 г вуглеводів – 55 мл.

10. Немає жодної речовини на Землі, крім води, яка б могла знаходитися одразу в трьох станах: рідкому, твердому і газоподібному. Так, наприклад, при нагріванні лід починає танути: рух молекул під впливом температури посилюється, кристалічна ґратка слабне, зв'язки між молекулами руйнуються, лід перетворюється у воду. Але, як виявилось, тала вода ще довго зберігає залишки кристалічної структури, і приховані від очей мікроскопічні крижинки зникають лише при $t^{\circ} + 4^{\circ}\text{C}$ і вище. При нагріванні талої води від 0 до 4°C її об'єм зменшується. За допомогою інфрачервоної спектроскопії вченим вдалось розглянути структуру талої води: вона нагадує крижаний палац з порожніми залами. При нагріванні льоду стіни палацу руйнуються – об'єм зменшується.

Останнім часом фізики і біологи, медики і агрономи досить ретельно вивчають властивості талої води. Поясніть, чому виник такий інтерес саме до талої води.

Відповідь. Ще здавна люди помічали, що вода після танення льоду деякий час відрізняється від звичайної. Так, ранньою весною горобці з насолодою купаються у свіжих калюжах, а мешканцям Півночі знайома така картина: величезні стада оленів пасуться у місцях накопичення талої води.

Агрономи проводили досить цікаві дослідження, які пов'язані з талою водою. Так, вони засіявали рівноцінні ділянки злаками: одну низькосортним зерном пшениці, а іншу – точнісінько таким, але витриманим 1,5 години, у день сівби у «сніговій ванні». Досліджувані рослини значно перевершили контрольні за висотою і товщиною стебла та величиною колосу. З кожного гектару дослідної ділянки отримали 18,3 ц пшениці, а з контрольної – лише 11 ц.

Вчені встановили, що талу воду можна вважати своєрідним біологічним стимулятором. Досліджуючи фізико-хімічні властивості цієї води, спеціалісти виявили відхилення в ній як за в'язкістю, так і за діелектричною проникністю. Лише через декілька діб вода «приходить у норму». Причина цього явища поки ще невідома. Але назва цьому вже дана – «структурна пам'ять води». За висунутою гіпотезою таємниця талої води криється у тонких змінах структури її молекул.

Про важливість біологічної ролі свіжої талої води свідчать також численні спостереження і спеціальні дослідження. Так, наприклад, у Томському медичному інституті вчені-медики проводили такий експеримент: Двадцяти п'яти хворим, котрі страждали серцево-судинними захворюваннями і порушенням обміну речовин, запропонували протягом 3-х місяців пити лише талу воду. Після експерименту, у них було зареєстровано зниження кількості холестерину у крові і відмічено покращення процесу обміну речовин.

В експериментальних дослідженнях, проведених О.А. Ластковим (1977), групі щурів і мишей вводили під шкіру фізіологічний розчин, який був приготовлений на свіжій талій дистильованій воді, або напували їх цією водою. На кінець експерименту ці тварини виявились набагато життєздатнішими, ніж ті, яким вводили фізіологічний розчин на звичайній дистильованій воді, або напували нею.

За іншими спостереженнями експериментатора, у робітників «гарячого» виробництва, котрі вживали для пиття свіжу талу воду, знижувалась температура шкіри і тіла, в той час як у робітників, котрі користувалися звичайною водою, цього не відбувалось.

11. Вченими встановлено, що вода, яка зв'язана з клітинною протоплазмою і вода, яка входить до складу міжклітинної рідини та інших утворів організму, має структуру, що нагадує лід. Як вчені назвали таку воду? Яке біологічне значення талої води?

Відповідь. Таку воду прийнято називати структурованою. Вона замерзає при температурі мінус 20°C (в тканинах живого організму існує і вільна вода, яка замерзає при 0°C). Структурована вода більш важлива для збереження функції і життєздатності тканин людини ніж вільна. При температурі 36°C «порожні» зали крижаних палаців структурованої води заповнюються живими біомолекулами – білками, нуклеїновими кислотами. Завдяки такій щільній

упаковці білок не деформується і не гине, вода з впорядкованою структурою бере участь у синтезі живої речовини – у біоенергетичних процесах клітини. І якщо ця гіпотеза справедлива, то тала вода може не тільки підвищувати фізичні ресурси живого організму, але й стати перепорою синерезису – зменшенню вмісту води в клітинах у похилому віці.

12. Відомо, що перехід води з крові у міжклітинну рідину повністю підлягає фізичним законам. Чи насправді це так? Поясніть механізм цього процесу.

Відповідь. Робота серця створює всередині судин гідростатичний тиск, який прагне виштовхнути рідину крізь стінку судини. Цьому протидіє осмотичний тиск, який створюють розчиненні у крові речовини.

Таким чином, головну роль в цьому процесі відіграє не осмотичний тиск, а лише та невелика його частина (приблизно $1/226$), яку утворюють білки плазми крові – це так званий онкотичний тиск. Річ у тім, що і воду, і низькомолекулярні розчинні речовини, які утворюють основну частину осмотичного тиску, стінки капілярів пропускають вільно, але для білків вони практично непроникні. І саме онкотичний тиск, який утворений білками, утримує воду всередині капіляра.

У початковій, артеріальній частині капіляра гідростатичний тиск великий – він набагато більший за онкотичний. Тому вода разом з розчиненими в ній низькомолекулярними речовинами витискується крізь стінки капіляра у міжклітинний простір. У кінцевій, венозній частині капіляра гідростатичний тиск значно менше, тому що тут капіляр розширюється. Онкотичний же тиск, утворений білками, тут, навпаки, підвищується, оскільки частина води вже залишила капіляр і об'єм плазми зменшився, а концентрація білків в ній збільшилась. Тепер, онкотичний тиск стає більше гідростатичного. І вода, яка несе з собою продукти життєдіяльності клітин, надходить з міжклітинного простору знову у судинне русло.

Такою є загальна картина обміну води між кров'ю і тканинами. Але цей механізм застосовується не у всіх випадках, наприклад, з його допомогою не можна пояснити обмін рідини у печінці. Гідростатичний тиск у печінкових капілярах недостатній для того, щоб викликати перехід рідини із них у міжклітинний простір. Тут вже відіграють роль не стільки фізичні закони, скільки ферментативні процеси.

13. Відомо, що явище гутації у рослин є показником того, що корені рослин інтенсивно поглинають воду і під тиском нагнітають її у надземні органи. А яка ж роль гутації у житті рослин?

Відповідь. Значення цього процесу перш за все у забезпеченні рівноваги між поглинанням і витратою води. Засвоєна коренями волога у великій кількості випаровується. Чим сильніше рослина випаровує воду, тим швидше вона рухається разом з розчиненими речовинами вгору по судинам. Однак процес випаровування різко гальмується у туманну і дощову погоду. У цих умовах уповільнюється і рух води по рослині. Завдяки гутації є можливість звільнитися від надлишку вологи, яка нагнічується кореневою системою, і

здійснювати, хоча й досить наближено, рух води з необхідними рослинні розчиненими речовинами.

Відомий австрійський фізіолог Г. Моліш встановив, що молоді пагони бамбука, які пробиваються крізь твердий сухий субстрат, розм'якшує його краплями, які виділяють кінчики його пагонів.

Не виключено, що такий самий механізм зволоження сухого ґрунту використовують при проростанні і злакові рослини. Крім того, при гутації рослина позбавляється надлишків деяких солей, наприклад, хлоридів натрію і кальцію.

14. *Всі ми бачили, як крізь асфальт пробивається паросток рослини. Це дивне явище можна спостерігати на кожному кроці: м'яка стеблина трав'янистої рослини або гіфи грибів пробивають твердий асфальт. Можливо, асфальт розтріскується за якимось іншими фізичними причинами, а рослина проростає крізь вже готову щарину? А можливо, насіння проростає у невеликій кількості ґрунту на поверхні асфальту, а потім вже руйнує асфальт коренями? А якщо все-таки рослина пробиває асфальт, то якими силами? Як рослина пробивається крізь асфальт? Чи має вона для цього спеціальні пристосування?*

Відповідь. Спочатку насіння активно поглинає воду, бубнявіє і починає проростати. У клітинах паростка виникає величезний гідростатичний тиск, який і дозволяє їм подолати товщу ґрунту або асфальту. А для цього у рослин є спеціальні пристосування, які допомагають їм пробивати землю. Наприклад, паросток кукурудзи пробиває землю щільно згорнутими, схожими на шило, листочками. Рослина з масивною верхівкою (паростки квасолі) долає супротив ґрунту зігнутих вдвічі кінчиком стебла. Паростки насіння показують тиск до семи атмосфер.

Шампіньйони пробивають бетонні і асфальтові покриття доріг, бетонні підлоги складів. Гіфи деяких грибів здатні просвердлити тонкі пластини із мармуру, золота, вапна. Проникнення це чисто механічне, обумовлене лише великим внутрішньоклітинним тиском розвиваючої гіфи. У період росту у грибів сильно підвищується тургорний тиск, тканини плодового тіла стають виключно пружними. Цей тиск досягає семи атмосфер і дорівнює тиску у шинах десятитонного самоскиду.

Тургор – внутрішній гідростатичний тиск у живій клітині, що викликає напруження клітинної оболонки. У тварин тургор клітин зазвичай невисокий, у рослинних клітин тургорний тиск підтримує листки і стебла (у трав'янистих рослин) у вертикальному стані, надає рослинам міцності і стійкості. Тургор – показник стану водного режиму рослин. Процеси зів'янення і старіння клітин супроводжується зниженням тургору.

15. *Аналіз світових кліматичних баз даних дає змогу виявити дивний факт: у всіх безлісних регіонах планети (степях, саванах, рідколіссях) середньорічна кількість опадів різко падає з віддаленням від океану, в середньому зменшуючись вдвічі на кожні 400 км. А у регіонах, які вкриті природними лісами (басейни річок Амазонки і Конго, Великих*

Сибірських річок), їхня кількість не тільки не падає, але може зростати в міру пересування вглиб континенту на відстані декількох тисяч кілометрів. Наприклад, у Китаї на сорок другій широті, де ліси були знищені ще в доісторичний період, опади становлять 790 мм/рік на відстані всього лише 400 км від океану, а ще через 1500 км кількість їх падає до 100 мм/рік. Тим часом у верхів'ї Єнісею опади становлять 800 мм/рік, хоча ця область віддалена від Тихого океану на 4, а від Атлантичного океану на 6 тисяч кілометрів, представляючи собою одну з найбільш віддалених від океанів областей планети. Звідки ж, на Вашу думку, береться волога у глибині континенту?

Відповідь. Як відомо, опади складаються із вологи, що принесена вітром, і вологи, що випарувалась з ґрунту. Таким чином атмосферна волога, яка надходить з вітрами з океану, конденсується і випадає в опади, зволожуючи ґрунт. Але суша височіє над океаном і має нахил. Тому під дією сили тяжіння волога з ґрунту стікає у напрямку максимального нахилу, збирається у ріки і тече в океан. Надлишкова волога може знову випаруватися і перенестись вітром у глибину континенту, але за рахунок втрат вологи у річний стік, кількість води, що випарувалась на суші, а тому, і величина опадів, повинна постійно зменшуватися в міру віддалення від океану. Це і відбувається на всіх безлісних територіях, крім тих областей планети, які вкриті лісами.

16. Вчені виявили таку закономірність: лісні екосистеми здатні закачувати вологу з океану саме у такій кількості, яка необхідна для компенсації витрат ґрунтової вологи у річний виток, підтримання вологості лісового ґрунту на оптимальному рівні і, відтак, забезпечення максимальної продуктивності самої екосистеми. Це явище отримало назву лісного біотичного насосу атмосферної вологи.

Які фізичні і біологічні принципи дії лісового насосу атмосферної вологи?

Відповідь. Водяна пара – газоподібний стан води – знаходиться в атмосфері під дією двох незалежних фізичних факторів: сили тяжіння і температури. Рівновага водяного пару у полі земного тяжіння показує, що на кожній висоті тиск пару скомпенсовано вагою пару в атмосферному стовпі над цією висотою. Падіння тиску газу з висотою приводить до розрідження газу, що підсилює зменшення тиску. Внаслідок, врівноважений тиск водяного пару падає з висотою у геометричній прогресії, зменшуючи вдвічі на кожні 9 км підйому. З іншого боку, водяний пар у повітрі не може мати концентрацію вище насиченої. Така концентрація виникає безпосередньо у поверхні океану, вологого ґрунту і вологих листків. Насичена (максимальна) концентрація убуває із зменшенням температури також у геометричній прогресії – приблизно вдвічі із зменшенням температури на кожні 10°C. Надлишок водяного пару негайно конденсується, переходить у рідину і вибуває із газової фази. Тому водяний пар міг би знаходитися у гравітаційній рівновазі над вологою землею поверхнею лише в тому разі, якщо температура атмосферного повітря

зменшувалась б не швидше, ніж по 10°C на кожні 9 км підйому. Реально ж температура повітря в земній атмосфері на 9 км підйому падає майже на 60°C. Це означає, що верхні шари атмосфери є надто холодними для того, щоб вага водяного пару, що знаходиться в них, була достатньою для компенсації тиску водяного пару у нижніх теплих шарах атмосфери. Некомпенсований тиск водяного пару на поверхні у багато разів переважає вагу водяного пару в атмосферному стовпі.

Виникає спрямована уверх сила, що діє на вологе повітря. Ця сила, створює потоки повітря і водяного пару від земної поверхні у верхні шари атмосфери, де водяна пара конденсується і випадає в осаді у вигляді дощу або снігу. Вибування пару із повітря компенсується безперервним випаровуванням з вологої земної поверхні. В областях, де випаровування більше, більше і висхідних потоків вологого повітря. Це приводить до наступної важливої закономірності атмосферної циркуляції: наземне вологе повітря зтягується з областей з меншим випаровуванням в області з більшим випаровуванням.

Завдяки високому листовому індексу, природні ліси підтримують високі потоки випаровування, які перевищують потоки над океаном. Волога, що випарувалась, конденсується і зникає із газової фази і таким чином приводить до розрідження повітря в атмосферному стовпі над лісом. Повітря зтягується знизу уверх, щоб зкомпенсувати розрідження, тиск повітря на поверхні в області підйому падає, і туди зтягується повітря із навколишніх областей. При цьому виникають висхідні потоки повітря над лісом, що призводить до зтягування вологого повітря з океану, який потім повертається до океану у верхніх шарах атмосфери після випадіння опадів над сушею. У пустелі цілорічне випаровування відсутнє, тому потоки сухого повітря спрямовані від суші до океану. У цьому і є сутність дії лісового насоса. Випаровування над суцільним непорушним покривом лісу завжди більше ніж випаровування з відкритої поверхні океанів, тому ліс може легко зтягувати вологе повітря з океанів у кількості, необхідній для власного нормального функціонування. Вітер завжди дує з океану на сушу, яка вкрита лісом. І навпаки, в пустелях, де випаровування немає, вітер завжди дує із суші на океан.

Поясніть, чому випаровування з лісного покриву перевищує випаровування з відкритої поверхні океану?

Відповідь. Це відбувається тому, що природний ліс має великий листовий індекс, тобто, випаровування здійснюється не з однієї площини, як у випадку з океаном, а з декількох площин листових пластинок (аналогічно, якщо мокрі простирадла скласти «купкою», вони будуть висихати повільніше, ніж якщо ці простирадла розвісити паралельно одне одному, щоб випаровування могло відбуватися з кожного з них).

17. Поясніть, чому над незайманим лісом, який простягається на декілька тисяч кілометрів, не буває ураганів і повеней.

Відповідь. Цілорічний вологий ґрунт незайманого лісу відвертає пожежі, а випаровування з поверхні листків, яке керує лісом, не допускає виникнення повені.

Постійна, цілорічна тяга біотичного лісного насосу робить неможливим виникнення посух, повеней, ураганів. Руйнування біотичного насосу у процесі знищення лісів призводить до появи всіх цих явищ на порушених людиною лісних територіях.

18. Відомо, що із міжклітинної рідини вода проникає у клітини. Якими фізичними законами визначається цей процес?

Відповідь. Цей процес визначається не лише законами осмосу, але й властивостями клітинної мембрани. Така мембрана, крім пасивної проникності, що залежить від концентрації тієї чи іншої речовини по різні її сторони, володіє ще й властивістю активно переносити певні речовини навіть проти градієнта концентрації, тобто із більш розбавленого розчину у менш розбавлений. Іншими словами, мембрана діє як «біологічний насос». Регулюючи таким шляхом осмотичний тиск, клітинна мембрана керує й процесами переходу крізь неї води із міжклітинного простору всередину клітини і навпаки.

19. Відомо, що водообмін рослинного організму складається з процесів надходження води, руху її по рослині та випаровування води з її поверхні. Поясніть, завдяки яким законам фізики вода надходить до рослин?

Відповідь. Рослина поглинає воду з ґрунту кореневими волосками. Вода надходить у клітини корневих волосків осмотичним шляхом без витрати енергії. Це означає, що вода надходить у клітини через напівпроникну мембрану (плазмалему) у вакуолю, концентрація клітинного соку якої вище концентрації ґрунтового розчину. По живих клітинах кори кореня до судин ксилеми вода також рухається осмотичним шляхом. Концентрація клітинного соку кожної наступної клітини вище, ніж попередньої.

Таким чином вода рухається і в клітинах м'якуша листка після виходу із судин ксилеми жилки.

По рослині від кореня до листків вода рухається по трахеїдах і трахеях ксилеми.

20. Продихи – особливі утвори в епідермісі, які слугують для поглинання вуглекислого газу з атмосфери, а також для виділення кисню і водяних парів. Вони відрізняються від оточуючих їх тканин формою клітин і наявністю в них хлорофілу. Зазвичай продихи розміщені на нижньому боці листка. Кожний продих складається з двох замикаючих клітин бобовидної форми і продихової щілини між ними. Стінки замикаючих клітин, які повернені одна до одної, набагато товстіші, ніж зовнішні.

При інтенсивному фотосинтезі тургорний тиск у цих клітинах підвищується. Поясніть механізм регулювання продихами надходження вуглекислого газу до листка й випаровування води.

Відповідь. Під дією тургорного тиску зовнішні оболонки замикаючих клітин, як більш тонкі і еластичні, розтягуються під дією цього тиску сильніше, ніж внутрішні. Від такого нерівномірного натягу дві замикаючі клітини стають схожими на півмісяці, а щілина між ними розширюється. Таким чином продих відкривається, і через нього починає інтенсивно випаровуватися вода, виділятися кисень і поглинатися вуглекислий газ. Вночі фотосинтез

припиняється, замикаючі клітини розслабляються, і щілина між ними замикається. Таким чином, продихи регулюють надходження вуглекислого газу у листок і випаровування води. Досить цікавим є такий факт: на 1 мм² епідермісу на нижньому боці листка у більшості рослин можна нарахувати від 100 до 700 продихів. Розміри продихових щілини дуже малі, і за меншої їх кількості нормальний газообмін був би неможливим.

21. Вода може підійматися по стовбурах дерев на дуже велику висоту – 30-50 м й навіть 100-130 м (секвоя). Відомо, що розріджувальна помпа підіймає воду тільки на висоту барометричного тиску (близько 10 м). Яким же чином вода в рослині досягає такої висоти? Розкрийте механізм надходження води на великі відстані.

Відповідь. На великі відстані воду по рослині переміщують два двигуни: нижній кінцевий – кореневий тиск і верхній кінцевий – транспірація.

Кореневий тиск можна продемонструвати, якщо зрізати стебло трав'янистої рослини. На пеньку з'явиться краплина рідини, яка потім стікає униз. Це означає, що корінь поглинає воду з ґрунту й подає її до судин ксилеми під тиском. Цей тиск можна визначити, якщо на пеньок одягти трубку з манометром. Кореневий тиск невеликий – 1-3 атм.

Кореневий тиск відіграє важливу роль у переміщенні води по рослині у вологих умовах середовища, коли процес транспірації дуже знижений. Проявом кореневого тиску є гутація, тобто виділення води рослиною в крапельно-рідкому стані через спеціальні завжди відкриті водяні продихи. У деяких рослин (красоля, верба, сходи злаків) у теплу вологу погоду на листках з'являються краплини води. Ця вода підіймається по рослині під дією кореневого тиску й виходить через водяні продихи. Особливо сильна гутація спостерігається у вологих тропічних лісах. Там деякі дерева виділяють кілька літрів води за добу, під ними мовби йде дощ.

На утворення кореневого тиску рослина витрачає енергію, яку виробляє в процесі дихання. Якщо охолоджувати корені й цим знижувати їх дихання, плач рослини припиняється, тому що зникає кореневий тиск.

Транспірація – верхній кінцевий двигун. Він значно потужніший за кореневий тиск і працює автоматично за рахунок сонячної енергії. Сонце нагріває листки, й вони випаровують воду. Втрата частини води листками веде до підвищення концентрації клітинного соку у вакуолях. Внаслідок цього до них надходить вода із судин ксилеми, ксилема, в свою чергу, всмоктує воду з коренів, а корені – з ґрунту. Так транспірація утворює градієнт концентрацій клітинного соку, який зростає від коренів до листків і примушує воду рухатися в тому ж напрямку.

Досить важливим у фізіології рослин було питання щодо того, яким чином вода може досягати значної висоти, рухаючись по стовбурах дерев. Вчені з'ясували, що це можливо завдяки зчепленню молекул води між собою та із стінками судин. Сила зчеплення дуже велика – 300-350 атм. Виходить, що по судинах рухаються безперервні струмені води, які знизу «підштовхує»

кореневий тиск, а зверху «підтягує» транспірація. Це й дає можливість воді підніматися по судинах на дуже велику висоту.

22. В рослинному організмі транспірація виконує дві важливі функції.

1) є двигуном води та речовин по рослині, тому що разом з водою від кореня вгору піднімаються мінеральні речовини;

2) випаровуючись, вода охолоджує листки рослин і тим самим утворює сприятливі умови для їх життєдіяльності.

Поясніть механізм транспірації в молодих і старих листках.

Випаровування відбувається з усієї поверхні рослини, однак, найбільш інтенсивно з листків. Транспірація з поверхні стебел крізь продихи й сочевички значно менша. В листках випаровування головним чином йде крізь продихи. У дуже молодих і старих листках випаровування може здійснюватися також через кутикулу, тому що в молодих листках вона ще тонка, а в старих часто розтріскується. Дорослі листки, особливо рослин посушливих місць, мають товсту кутикулу, крізь яку випаровування неможливе. Випаровування води починається з поверхні клітинних оболонок м'якуша листків. Водяна пара збирається в міжклітинниках і потім крізь продихи дифундує в атмосферу. Інтенсивність транспірації регулюється рухами продихів. В умовах нестачі вологи вони закриваються, що зменшує випаровування, тобто втрату води рослиною.

В умовах нормального водозабезпечення кількість води, що надходить у рослину через корінь і випаровується через листя, приблизно однакова. При високій температурі й суховіях листки втрачають більше води, ніж поглинає корінь, і в рослині створюється водний дефіцит, що призводить до порушень її життєдіяльності. Тому рослини посушливих місць мають цілий ряд пристосувань до умов життя. В них зазвичай значно потовщена зовнішня оболонка клітин епідерми, є товста кутикула й восковий наліт, продихи розміщуються в заглибинах. У деяких рослин (злаки сухих степів) в найбільш спекотливий період листки скручуються в трубочку так, що продихи знаходяться всередині, це також зменшує випаровування. Транспірація може дуже знижуватися, але вона ніколи не припиняється, тому що рослинам постійно потрібен транспорт речовин.

Існують й інші пристосування до життя в посушливих умовах: довгий корінь, що досягає ґрунтових вод, зменшення площі листків аж до колючок, короткий вегетаційний період у деяких рослин, який закінчується плодоношенням ще до початку посухи, накопичення води у водоносній тканині, здатність поглинати вологу з повітря та ін.

Водообмін тісно пов'язаний з мінеральним живленням і фотосинтезом. Так, з течією води по рослині переміщуються мінеральні речовини. Газообмін при фотосинтезі й випаровування води йдуть крізь одні й ті ж продихи.

В разі нестачі вологи, коли продихи закриваються для зменшення втрати води рослиною, знижується й фотосинтез через нестачу вуглекислого газу, що зменшує забезпечення рослини енергією та органічними речовинами.

23. Як відомо, рослини нерухомі, але деякі їх частини можуть активно переміщуватися. Так, відомі рухи у листка росянки, розтріскування плоду у нетреби звичайної. Завдяки чому здійснюється рухи названих частин у цих рослин?

Відповідь. Зазвичай рухи деяких частин рослин майже завжди пов'язані з водним обміном. Як відомо, росичка відновлює нестачу поживних речовин хижацтвом. Спеціальні залозки на довгих ніжках, які розміщені на верхній поверхні листків, виділяють крапельки клейкої рідини, що приваблює комах. Жертва в'язне в ній, а листок тим часом починає закриватися і огортає комаху, утворюючи аналог тимчасового шлунку для перетравлення. Цей рух листка росички можливий завдяки осмотичному механізму. Тургор клітин нижньої поверхні листка виявляється більшим, ніж у розміщених вище, тому верх листка в кінці кінців прогинається і стає схожим на чашу.

Інший приклад дивує швидкістю, з якою можуть відбуватися рухи рослин під тиском води. Так, нетреба звичайна, яка росте у болотистих місцях, використовує осмотичний механізм для розкидання свого насіння. Тургорний тиск у зовнішніх покривах дуже довгих стиглих плодів – коробочок настільки перевищує тиск у клітинах внутрішніх тканин, що при найменшому порушенні внутрішніх тканин крихкої рівноваги коробочки буквально вибухають. При цьому їх стулки закручуються до самої основи, розкидаючи насіння на декілька метрів навкруги.

24. Лісники давно помітили, що на місці зрубаних лісів нерідко утворюються болота, які зникають лише в тому випадку, коли на них виростуть нові дерева, які висмокчуть з ґрунту надлишкову вологу. Так, наприклад, ще у минулому столітті виникла думка про використання евкаліптів для осушення болотистих територій у південних широтах, де велика вірогідність появи малярії. Евкаліпти вважаються найвищими квітковими рослинами (були описані екземпляри висотою до 155 м, при діаметрі стовбура 25 м). Завдяки яким процесам вода здатна піднятися на таку висоту?

Відповідь. Дійсно, щоб підняти воду на значну висоту, одного кореневого тиску замало, зазвичай його вистачає, щоб доставити її на десятиметрову висоту. Випаровування є тим рушієм, який дозволяє транспортувати вологу на більш високий рівень, і чим інтенсивніше цей процес, тим легше дереву постачати водою листя. Тому зовсім не випадково евкаліпти транспірують так інтенсивно. Виникає питання, чому випаровування води сприяє її підняттю по стеблу. У природі ми можемо спостерігати таке явище: листки дерева випаровують воду і одночасно піднімають рідину, яка знаходиться у судинах стебла.

Таким чином, евкаліпти, корені яких досягають глибини 30 м, наче гігантські помпи викачують воду з ґрунту, безперервно постачаючи нею величезну крону.

25. Відомо, що завдяки високій теплопровідності вода віднімає тепло від органів, де його утворюється багато, і розносить по всіх інших органах, урівноважуючи тепло в усьому організмі. Назвіть органи, в яких утворюється багато тепла.

Відповідь. Такими органами є печінка і м'язи. Саме у цих органах утворюється велика кількість тепла, але вони не перегріваються, тому що вода перерозподіляє це тепло між усіма органами рівномірно.

26. Більшість речовин з пониженням температури стискається, а їх густина зростає. Але вода має максимальну густину при +4°C, що вище за температуру її замерзання (0°C). Чому ж невелика густина льоду вигідна тваринам, які мешкають у воді?

Відповідь. Лід плаває на поверхні води. Він утворює ізоляційний шар, що перешкоджає доступу холодного повітря до води. Це уповільнює перетворення води на лід і рятує організми, які живуть у водоймах, від замерзання.

27. Під час охолодження від +4°C до 0°C вода розширюється. У кристалах льоду відстань між молекулами води більша, ніж у рідкій воді, а це значить, що кристали льоду більші за об'ємом від тієї води, з якої вони утворилися. Чим небезпечне утворення кристалів льоду у живих організмів? Що їх рятує від замерзання?

Відповідь. Якщо кристали льоду утворюються в живому організмі, то вони можуть зруйнувати його внутрішні структури й спричинити його загибель. Відомо, що розчини різних речовин замерзають при нижчій температурі, ніж чиста вода. Тому деякі організми накопичують у своїх тканинах речовини, які запобігають замерзанню і утворенню кристалів льоду. Так, в озимій пшениці, в деяких комах і земноводних є природні антифризи, що запобігають утворенню льоду в клітинах. Відомі факти, коли жаби оживали після вмерзання в лід. Це забезпечувалось підвищеним вмістом у їхніх клітинах глюкози та деяких інших речовин. Також тканини деяких рослин є такими, що не ушкоджуються кристалами льоду. Ссавців і птахів рятує від замерзання те, що температура їхнього тіла підтримується на достатньо високому рівні.

28. Вода під час випаровування сприяє охолодженню тіла. Оскільки на випаровування води необхідно багато тепла, молекули, що досягли «швидкості» та переходять з води в повітря, беруть із собою значні кількості теплової енергії. Наведіть приклади живих організмів, які використовують цю властивість для охолодження тіла?

Відповідь. Потовиділення в людини, а також теплова задуха в собак є прикладами охолодження шляхом випаровування у тваринному світі. Так, у собак майже немає потових залоз. Вони охолоджуються, випаровуючи воду з поверхні ротової порожнини та при диханні. Подібним чином охолоджують своє тіло й крокодили

29. Загальновідомо, що головним шляхом виведення води з організму є нирки. Нирки – це один із найбільш енергійно працюючих органів, вживання енергії на одиницю ваги в них більше ніж у будь-якому іншому органі. Із всього кисню, який поглинається людиною, не менше 8-10% використовується

саме в нирках, хоча їх вага складає всього 1/200 частину ваги тіла. Зрозуміло, що все це свідчить про важливість тих процесів, які відбуваються в них. Поясніть процеси, які відбуваються в нирках, спираючись при цьому на фізичні закони.

Відповідь. За добу через нирки проходить більш як 1000 л крові – це означає, що кожна краплина крові за добу буває тут не менше двох сот разів. Саме тут кров очищується від непотрібних продуктів обміну речовин, які вона приносить від усіх органів і тканин розчинними у плазмі, тобто знову ж таки у воді.

Коли кров проходить через початкову, артеріальну частину ниркового капіляра, біля 20% її завдяки високому гідростатичному тиску (в ниркових капілярах він вдвічі вище, ніж у звичайних) проникає крізь стінку капіляра у порожнину ниркового клубочка – це так звана первинна сеча. При цьому, як і у решти капілярів організму, крізь стінку ниркового капіляра проходять всі розчинні у плазмі речовини, крім білків. Серед них, крім викидів, які необхідно видалити з організму, є і потрібні речовини, видалення яких було б безглуздим марнотратством. Цього організм собі дозволити не може, і тому у нирковому каналці, куди первинна сеча потрапляє із ниркового клубочка, відбувається ретельне сортування. Поживні речовини, різні солі, інші сполуки постійно реабсорбуються – переходять крізь стінки каналця знову у кров, у прилеглий до каналця капіляр. Провідну роль у цьому процесі реабсорбції відіграють складні ферментативні реакції.

Разом з корисними речовинами залишає первинну сечу і вода. У початковому відділі ниркового каналця вода реабсорбується пасивно: вона переходить у кров слідом за натрієм, глюкозою та іншими речовинами, які активно реабсорбуються, вирівнюючи різницю, що виникла в осмотичному тиску.

У кінцевому ж відділі ниркового каналця, коли реабсорбція корисних речовин вже в основному закінчена, повернення води у кров регулюється іншим механізмом і залежить лише від того, наскільки потрібна організму саме ця вода. У стінках кровоносних судин розкидані нервові рецептори, які тонко реагують на зміну вмісту води у крові. Як тільки води стає менше, ніж потрібно, нервові імпульси від цих рецепторів надходять у гіпофіз, в якому починає виділятися гормон вазопресин. Під його впливом виробляється фермент гіалуронідаза. Фермент робить проникними для води стінки ниркових каналців, руйнуючи водонепроникні полімерні комплекси, які входять до їхнього складу, і ніби відкриває кран для виходу води крізь стінку каналця. Внаслідок цього, вода, тепер вже слідуючи законам осмосу, переходить у кров. Чим менше в організмі води, тим більше виділяється вазопресину, чим більше виробляється гіалуронідази, тим більше води всмокчеться знову у кров.

В кінцевому рахунку із всієї первинної сечі лише менше 1% «справжньої» сечі, яка тепер вже містить лише відпрацьовані продукти життєдіяльності і лише не потрібну для організму воду.

30. Експериментально встановлено, що для видалення відходів життєдіяльності організму людини щодоби потрібно не менш ніж 500 мл сечі. Що ж відбувається в організмі людини при недостатньому надходженні води? Як людина переносить зневоднення і чим воно небезпечно для неї?

Відповідь. При недостатньому надходженні води до організму, коли після відновлення її витрат через шкіру і легені на долю нирок залишається менше 500 мл, частина відпрацьованих продуктів життєдіяльності залишається в організмі і може викликати його отруєння. Саме цим небезпечно водне голодування. А особливо важко людина переносить зневоднення. Якщо витрати води не відновлюються, то внаслідок порушень фізіологічних процесів погіршується самопочуття, падає працездатність, а при високій температурі повітря порушується терморегуляція і може настати перегрів організму. При втраті вологи, яка складає 6-8% від ваги тіла, у людини підвищується температура тіла, червоніє шкіра, прискорюється серцебиття, прискорюється дихання, яке переходить у задуху, з'являється м'язова слабкість, головні болі і настає стан знепритомлення. При втраті 10% води можуть відбуватися необернені зміни в організмі. Втрата води в кількості 15-20% при температурі повітря вище 30°C є вже смертельною, а втрата 25% води смертельна і при більш низьких температурах.

31. В яких випадках вода може стати перепорою для поширення риб? Наведіть приклади.

Відповідь. Як відомо, кожний вид риб пристосований до певних умов існування. Тому вода, що має фізико-хімічні ознаки, які не підходять для даного виду, може бути перепорою для його поширення.

Так, для прісноводних риб перепорою є солоня вода (наприклад, більшість амурських видів відсутні у сусідніх річках, які впадають в Охотське і Японське море), і, навпаки, риби, які живуть у солоній воді, не можуть поширюватися через прісноводні водойми. Холодостійкі риби не можуть розселятися через теплі водойми (наприклад, арктичний голец у Західній Європі зустрічається лише в окремих гірських озерах) і навпаки (звичайна сардина не зустрічається біля берегів північної Америки, тому що їй перепорою є холодна Лабрадорська течія). Для багатьох прибережних риб непереборні глибоководні ділянки відкритого океану (європейський горчак зустрічається біля берегів Європи, але не зустрічається біля берегів Америки). Ділянки річок із швидкою течією є перепорою поширенню риб, що живуть у стоячій воді, або воді з повільною течією: більшість карпових зустрічаються на рівнинних ділянках, проте відсутні на гірських ділянках, навіть якщо там є наявні для них біотопи (озера, стариці). І насамкінець, вода в іншому агрегатному стані (пара, лід, наприклад, ділянка замерзлого до дна русла) є непереборною перепорою для будь-яких риб.

Тема 2. Органічні речовини

32. Жодним органічним сполукам не притаманні такі різноманітні функції, як білкам. Серед основних функцій білків виділяють здатність їх зберігати онкотичний тиск у клітинах і крові. Яким чином створюється в клітині та крові онкотичний тиск та яке його значення?

Відповідь. Онкотичний тиск, колоїдно-осмотичний тиск – частина осмотичного тиску, що створюється високомолекулярними компонентами – білками розчину. Онкотичний тиск у крові людини й тварин порівняно із загальним осмотичним тиском (7-8 атм) незначний, але має велике значення для процесів всмоктування і переходу рідини з капілярів у тканини і навпаки.

Швидкість фільтрації рідини крізь стінки капілярів залежить від різниці між онкотичним тиском білків плазми крові та гідростатичним тиском крові, що створюється роботою серця. Зниження онкотичного тиску (особливо у випадку зменшення концентрації альбумінів) спричиняє нагромадження рідини в міжклітинному просторі, внаслідок чого утворюються набряки.

33. Природа тяжіє вліво – таку тезу висунув біолог із Берліна Зігфрід Вахтель. Квасоля закручується вліво. Летючі миші покидають свої помешкання за лівими спіралями. Поранені тварини, втікаючи, беруть лівіше. Молекула ДНК – структурний елемент життя – представляє собою за формою подвійну спіраль, повернену вліво. «Єдиним поясненням цього феномену може слугувати той факт, що рух вліво – закон природи», робить висновок вчений.

Спробуйте знайти інші пояснення лівостороннього феномену.

Відповідь. Група Грема Кукса із університету Пердью (Уест-Лафайетт, штат Індіана) виявила, чому перші «будівельні блоки» біологічних молекул мали лівосторонню орієнтацію. Як відомо, амінокислоти, які не входять до складу білків, можуть бути «закручені» як вліво, так і вправо. І «ліві», і «праві» молекули мають однакові хімічні властивості. Однак вибір природи впав на лівосторонні молекули. Так, серія експериментів продемонструвала, що лівостороння «версія» амінокислоти серин здатна легко формувати ланцюжки, в яких ланки надійно зв'язані одна з одною. Лівосторонні серинові кластери, в свою чергу, «самі собою» з'єднуються з іншими лівосторонніми амінокислотами. Правосторонній серин, на думку вчених, не здатен формувати надійні зв'язки і тому не має виражених «конструкторських здібностей». Можливо, формування «первинного бульйону» почалось з активної діяльності лівосторонніх молекул серину. З часом сформовані крупні біологічні молекули – білки, цукри – пішли курсом, заданим «лівим» серином. Все це могло запустити хімічні реакції, які через мільярди років привели до виникнення життя.

34. Для того, щоб вивчити фауну будь-якого озера, зазвичай потрібна тривала робота (декілька місяців) спеціалістів щодо різних груп тварин. Проте, датські біологи нещодавно довели, що це можливо зробити набагато швидше і простіше. Як ви думаєте який метод щодо вивчення видового складу озера запропонували вчені?

Відповідь. Про те, хто мешкає в озері можна пізнати за молекулярним аналізом води за кількістю ДНК різних типів можливо навіть оцінити чисельність тих або інших видів тварин. Але, при цьому аналізі треба встигнути провести за два тижня після взяття проби, тому що пізніше молекули ДНК розпадуться.

35. Два десятиліття тому вченими була виявлена причина вправних стрибків бліх завдяки білку резиліну, для якого характерна висока еластичність і пружність. Як ви вважаєте, у яких частинах тіла міститься цей білок у бліх, у комах та скільки може віддавати енергії зжатиї резилін та еластин (у ссавців). при розтягненні?

Відповідь. Вставки із резиліну знаходяться у головних суглобах стрибаючих ніг блохи. Деяко пізніше резилін знайшли у багатьох комах, у тому числі у тих, які не стрибають. Він входить до складу крил та інших елементів скелету, що потребують особливої пружності. У дорослих комах ген вироблення резиліну відключається, так що пружний білок, з'явившись один раз служить усе життя. Розпрямляючись, зжатиї резилін віддає 97% енергії, білок еластин, що входить до складу зв'язок у ссавців, - 90%.

РОЗДІЛ II. КЛІТИННИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Тема 1. Загальний план будови клітин. Поверхневий апарат. Ядро.

36. Від чого залежить кількість структур, виявлених за допомогою світлового мікроскопу? Які види світлової мікроскопії вам відомі?

Відповідь. Кількість структур клітини, виявлених за допомогою світлового мікроскопа залежить від кратності збільшення. Кратність збільшення визначається як добуток збільшень об'єктива та окуляра. Сучасні світлові мікроскопи мають кратність збільшення у 2-3 тис. разів.

Залежно від будови мікроскопів розрізняють такі види світлової мікроскопії: фазовоконтрастна, інтерференційна, поляризаційна, мікроскопія у темному полі, ультрафіолетова, флуоресцентна.

Фазовоконтрастна дає змогу спостерігати незабарвлені живі об'єкти – мікроорганізми, тканинні клітини.

Інтерференційна дає можливість спостерігати непофарбовані прозорі структури, а також обчислювати їхню суху вагу.

Флуоресцентна мікроскопія ґрунтується на здатності багатьох речовин світитися при ультрафіолетовому опроміненні (первинна флуоресценція). Частіше застосовують вторинну флуоресценцію після обробки клітин та тканин люмінесцентними барвниками – флуорохромами (флуоресцеїн, акридин оранжевий, флокси). Дає можливість вивчати зміни клітин та їх окремих структур при різних функціональних станах, розрізняти живі та мертві клітини.

Поляризаційна мікроскопія ґрунтується на здатності різних компонентів клітин та тканин заломлювати поляризовані промені (анізотропні структури).

У темному полі можна спостерігати різноманітні живі клітини, невидимі у світловому полі об'єктива.

Ультрафіолетова мікроскопія дає змогу якісно і кількісно виявляти вміст клітин на основі особливостей поглинання ультрафіолетових променів.

37. Для отримання зображення в електронному мікроскопі використовують потік електронів, який проникає через об'єкт і утворює зображення на фотоплатівці. На якій властивості електронів базується будова таких мікроскопів?

Відповідь. Устрій електронних мікроскопів базується на таких властивостях електронів: частина електронів, проходячи крізь об'єкт, може відхилитися, розсіюватися, поглинатись, взаємодіяти з об'єктом або проходити через нього без змін.

Наприклад, препарати обробляють золотом, платиною та іншими важкими металами, внаслідок чого органели і клітинні структури набувають різного ступеня поглинання електронів і тому виділяються на екрані або фотоплатівці. При скануванні потік електронів не проходить через об'єкт дослідження, а відбивається від його поверхні.

38. Клітинній мембрані притаманні три властивості: рухливість, самозамкнення, вибірковість проникнення речовин. Поясніть, з чим пов'язані ці властивості мембрани і яке це має значення для клітини.

Відповідь. Названі властивості мембран визначаються її функціями.

В організації біологічних мембран нині загальноприйнятою є модель розчинно-мозаїчної будови мембран. Мембрани складаються з ліпідів, білків та вуглеводів. Близько 30% ліпідів тісно зв'язані з внутрішніми білками, а решта перебуває у рідкому стані, де плавають «ліпопротеїди». За вагою приблизно половина мембрани припадає на фосфоліпіди, інша половина – на білки. Білки за розміром значно більші за ліпіди, їх молекулярна вага в середньому на два порядки більше. Це означає, що концентрація білків на два порядки нижче, ніж концентрація ліпідів. Зовні мембрана, як правило, має шар глікокалікса, а всередині вона пов'язана з мембранним або цитоскелетом. За фізіологічних температур мембрана – це анізотропний рідкий кристал. У нормальному до поверхні напрямку вона поводить себе як тверде тіло, а в латеральному – як ліпідна рідина, інкрустована білками. Між молекулами білків та їх частинами є пори, заповнені водою. Молекули мембран здатні переміщуватися, завдяки чому мембрани швидко поновлюються за незначних пошкоджень, утворюються над оголеними ділянками цитоплазми, можуть легко зливатися одна з одною, розтягуватися й стискатись, наприклад, під час руху клітин або зміни їхньої форми.

Плазматична мембрана обмежує цитоплазму і захищає її від впливу навколишнього середовища, бере участь у процесах обміну. Вона утворює вирости, вгини, зморшки, мікроворсинки, які збільшують зовнішню та внутрішню поверхні клітини.

Плазматична мембрана хвилеподібно рухається, сприяючи пересуванню макромолекул, вона міцна та пластична. Завдяки плазматичній мембрані

здійснюється зв'язок між клітинами в тканинах багатоклітинних організмів. У місцях з'єднання двох клітин мембрана кожної з них може утворювати складки або вирости.

Саме ці утворення надають з'єднанню двох клітин особливу міцність.

39. Відомо, що цитоплазма живих рослинних клітин перебуває в безперервному русі. Як пов'язати, з одного боку динамічність форми і положення шару цитоплазми з наявністю і збереженням в ній мембранних систем, а з іншого – постійність розміщення каналів і трубочок ендоплазматичної сітки при безперервному русі цитоплазми?

Відповідь. В більшості випадків структури ендоплазматичної сітки залишаються шорсткими і їх «обтікає» в'язка маса цитоплазми, не порушуючи просторової організації.

Мембрани шорсткої ендоплазматичної сітки можуть сполучатися і з плазматичною мембраною.

Крім того, шорстка ендоплазматична сітка бере участь у синтезі компонентів клітинних мембран (мембранні білки, фосфоліпіди, глікопротеїди та ін.).

Білки, що надходять до порожнин ендоплазматичної сітки, можуть накопичуватись, дозрівати та набувати притаманної їм конфігурації, приєднувати до себе небілкові частини.

Стабілізація просторового положення органоїдів зумовлена діяльністю мікротрубочок.

40. Як і все живе, клітини перебувають у постійному русі. Вони безперервно змінюють свою форму, переміщують вміст, створюють течії цитоплазми, вигинають мембрани, повзають, обертаються, плавають, протискуються крізь вузькі щарпини і отвори. Завдяки чому клітина рухається і разом з тим зберігає свої чіткі межі? Поясніть механізм переміщення внутріклітинних органел? Як клітина долає простір всередині багатоклітинних організмів?

Відповідь. Клітина не змогла б рухатися так вільно і разом з тим зберігати власні чіткі межі, якби не мала б цитоскелету. У багатьох клітин еукаріотів цитоскелет – це гнучкий каркас, що складається із трьох компонентів: мікротрубочок, мікрофіламентів і мікротрабекулярної сітки. Це якби «кістки» і «м'язи» клітини. З їхньою допомогою відбувається переміщення внутріклітинних органел. Загалом цитоскелет надає клітинам характерного зовнішнього вигляду й форми, є місцем прикріплення органел та різних тілець, фіксуючи їх розміщення у клітині та забезпечує можливість зв'язку між складовими частинами клітини. Цитоскелет – це не постійний каркас клітини, а динамічна структура, що змінюється в часі. Так, мікротрубочки у клітинах еукаріотів входять до складу центріолей, утворюють мітотичне веретено поділу під час мітозу, регулюють розходження хроматид і хромосом під час поділу клітини. З них побудовані базальні тільця, які знаходяться біля основи війок і джгутиків. У веретені поділу клітини, а також у війках і джгутиках рух здійснюється за рахунок ковзання мікротрубочок. У першому випадку

хромосоми або хроматини розходяться, а другому – відбувається рух війок і джгутиків.

Мікротрубочки беруть участь у переміщенні інших клітинних органел, наприклад, міхурців Гольджі, які безперервно транспортуються до мембрани, та міхурців від ендоплазматичної сітки, які прямують до комплексу Гольджі.

У багатьох клітинах відбувається переміщення й більших органел, наприклад, лізосом і мітохондрій. Пересування органел може бути впорядкованим або невпорядкованим. Вважають, що такий рух характерний майже для всіх клітинних органел. Рухи припиняються, якщо пошкоджена система мікротрубочок.

Мікрофіламенти – ниткоподібні структури, діаметр яких становить близько 5 нм. Це полімери глобулярного білка актину з відносною молекулярною масою 43000.

Методом імунофлуоресцентної мікроскопії встановлено, що актиновий цитоскелет подібний до цитоскелета з мікротрубочок. Часто мікрофіламенти утворюють переплетення або пучки безпосередньо під плазматичною мембраною, а також на межі поділу між рухомою та нерухомою частинами, як і мікротрубочки, беруть участь в ендо й екзоцитозі. Під час мітозу клітини численні мікрофіламенти виявляються в зоні, де відбувається поділ клітини. Мікрофіламенти утворюють так зване «скорочувальне кільце». Встановили також, що молекули актину перебувають у тісному взаємозв'язку з веретеном клітин, які діляться. Можливо, вони взаємодіють з мікротрубочками веретена поділу під час руху хромосом. У клітинах виявляються також нитки міозину, подібного до міозину м'язів, хоча кількість його значно менша. Це дає підставу вважати, що роль мікрофіламентів у клітині пов'язана з рухами або всієї клітини, або окремих її структур всередині клітини.

Відомо, що скорочення м'язів відбувається в результаті взаємодії між нитками актину й міозину, а необхідну для цього енергію постачає АТФ.

Основою руху клітин і внутрішньоклітинних структур є, очевидно, взаємодія актину й міозину, як і під час м'язового скорочення. Однак цей рух регулюється зовсім не так, як у м'язах. У деяких випадках функціонують лише актинові філаменти, а інших - актин разом з міозином. У клітинах, яким властивий рух, збирання й руйнування мікрофіламентів відбувається безперервно.

Трабекулярна система складається з тонких фібрил (завтовшки 2-3 нм), яка пронизує цитоплазму в різних напрямках і зв'язує всі внутрішньоклітинні компоненти: мікротрубочки, різноманітні фібрилярні структури, мембранні органели та плазматичну мембрану.

Функціональна роль трабекулярної системи полягає не тільки у створенні та підтриманні внутрішньоклітинного каркасу, а й у відповідній організації ферментів в об'ємі цитоплазми: ферменти можуть бути вміщені в сітку й орієнтовані таким чином, що попередній фермент передає субстрат наступному в ланцюгу метаболізму. Це система дуже динамічна, вона розпадається у разі зміни зовнішніх умов, чутлива до пониження температури тощо.

Сама ж клітина еукаріот долає простір завдяки роботі війок й джгутиків на своїй поверхні. Часто всередині багатоклітинних організмів також зустрічаються війки. З їх допомогою, наприклад, переміщуються яйцеклітини у яйцеводах ссавців, слиз у дихальних шляхах – робота війок там дозволяє видаляти часточки пилу.

Електричні явища в живих організмах

41. Сучасні вчені-фізіологи проводячи численні експерименти встановили, що в будь-якій рослині можна виявити електричні потенціали. Завдяки якому механізму в рослинах виникає електричний потенціал?

Відповідь. Встановлено, що у нормальному стані цитоплазма заряджена негативно по відношенню до своєї зовнішньої поверхні. Причина цього вбачається у нерівномірному розподілі іонів: всередині клітин знаходиться більше іонів Cl і K, але менше Ca, ніж ззовні. Такий розподіл іонів, що визначає величину потенціалу спокою, пов'язано з тим, що у мембранах клітин знаходяться особливі молекули-переносники, які подібно насосу, перекачують іони всередину клітини. Так, наприклад, величина потенціалу спокою мімози дорівнює 160 мВ. Після подразнення відбувається швидке зменшення цієї величини до 20 мВ. У відповідь на подразнення виникає потенціал протилежного знаку, або потенціал дії. У клітинах мімози він дорівнює приблизно 140 мВ, а у комахоїдних рослин Венериної мухоловки і Альдрованди складає біля 100 мВ.

Поява потенціалу дії пов'язується з виходом іонів Cl з клітини, а можливо, з надходженням Ca всередину її. Особливо детально це явище вивчено на гігантських клітинах водоростей Хари і Нітелли. В них потенціал дії виникає під впливом механічних, хімічних і електричних подразників. Від клітини, яка піддавалась подразненню, потенціал дії поширюється у мімози зі швидкістю 2-5 м/с, у Венериної мухоловки – 20 см/с, у соняшника – 1,3 см/с.

Переміщення його відбувається, напевно, таким чином: потенціал дії однієї клітини збуджує сусідню, в якій виникає власний потенціал дії, і т.д. Збудження передається головним чином по судинним елементам. Якщо повністю видалити із стебла провідні тканини, рослини не будуть відповідати на подразнення генеруванням електричного потенціалу дії. Важливу роль у виробленні електричних імпульсів у провідній тканині відіграють іони калію. В разі нестачі калію потенціал дії не виникає у відповідь на подразнення. Не випадково у провідних тканинах рослин міститься велика кількість цього елемента. У вищих рослин чітко проявляється здатність генерувати електричні імпульси, що періодично повторюються у відповідь на дію постійного подразника.

42. Вчені-фізіологи довели, що електричні сигнали причетні до виконання різноманітних функцій. Так, наприклад, механічне подразнення нектарників квіток липи викликає появу електричного імпульсу, який

сприяє посиленню утворення і виділення нектару. Як ви вважаєте, яке ж значення біострумів у заплідненні квіткових рослин?

Відповідь. Роль електричних сигналів у квіткових рослин полягає у стимуляції процесу запліднення. Зазвичай пилок заряджений позитивно, а приймочка – негативно. Ця обставина, вірогідно, відіграє чималу роль у потраплянні пилку на приймочку маточки і в заплідненні.

Виміри електричного поля навколо проростаючих пилкових зерен, які проведені з допомогою спеціального електрода, показали, що вони генерують постійний електричний струм у декілька сот пікоампер. У пилковій трубці, яка росте, струм досягає досить високої щільності (біля 60 мкА/см^2) і реєструється протягом усього періоду їх росту.

43. Італійські ботаніки нещодавно виявили, що на кінчику корінця кукурудзи є зона, де постійно виникають електричні імпульси. Як ви вважаєте, яке їх призначення?

Відповідь. Так, дійсно, на кінчику корінця цієї рослини постійно виникають електричні імпульси, причому у сусідніх клітинах вони скоординовані між собою. Саме електрична активність цієї ділянки керує ростом кореня.

44. Відомо, що застосування електрофізіологічних методів дозволило вченим-фізіологам з вивчення тварин досягти значного прогресу в цій галузі знань. Ними було встановлено, що в організмах тварин постійно виникають електричні струми (біоструми), поширення яких і приводить до рухливих реакцій. Ч. Дарвін у свій час припустив, що подібні електричні явища мають місце і у листках комахоїдних рослин, які мають досить виражену здатність до руху. Яким вченим вдалось довести цю гіпотезу?

Відповідь. Вчений-фізіолог Оксфордського університету Бурдан Сандерсон провів експерименти з Венериною мухоловкою. Так, приєднавши листок цієї рослини до гальванометра, він відзначив, що стрілка миттєво відхилилась. Отже, це свідчило про те, що у живому листку цієї комахоїдної рослини виникають електричні імпульси. Коли дослідник викликав подразливість листків доторкнувшись до розміщених на їх поверхні щетинок, стрілка гальванометра відхилилась у протилежний бік.

Німецький фізіолог Герман Мунк, який продовжив експерименти Сандерсона, у 1876 році прийшов до висновку, що листки Венериної мухоловки в електромоторному відношенні подібні нервам, м'язам і електричним органам деяких тварин.

В Росії електрофізіологічні методи були використані М.К. Леваковським для вивчення явищ подразнення у мімози. В експериментах вченого найсильніші електричні сигнали спостерігались у тих екземплярах мімози, які найбільш енергійно відповідали на зовнішні подразники. якщо ж мімозу швидко нагрівали, то змертвілі частини рослин не виробляли електричних сигналів. Згодом виникнення електричних сигналів спостерігали також у тичинках будяка і чортополоху, у черешках листків росянки.

45. Електричне поле впливає не лише на дорослі рослини, але й на насіння. Якщо їх на деякий час помістити у штучно створене електричне поле, то вони швидше дадуть рясні сходи. Як ви вважаєте, в чому причина цього явища?

Відповідь. Вчені припускають, що всередині насіння внаслідок впливу електричного поля розривається частина хімічних зв'язків, що й приводить до виникнення уламків молекул, у тому числі часток з надлишковою енергією – вільних радикалів. Чим більше активних часток всередині насіння, тим вища енергія їх проростання. На думку вчених, подібні явища виникають при дії на насіння й інших випромінювань: рентгенівського, ультрафіолетового та радіоактивного.

46. У 60-х роках минулого століття вченими Харківського університету була висунута гіпотеза, згідно з якою клітинні ядра в живій клітині функціонують як мікроскопічні генератори електромагнітних коливань, що утворюють у клітині електромагнітні поля та токи йонів та електронів. У зв'язку з цим виникає багато занепокоєнь стосовно електромагнітного забруднення навколишнього середовища.

Чим, на вашу думку, небезпечне електромагнітне забруднення для живих організмів?

Відповідь. Про те, що електромагнітні забруднення призводять до порушень і змін у тонких клітинних та молекулярних біологічних структурах вже ні в кого не викликає сумніву. Так, відомий випадок з пацієнтом, якому був уведений електронний стимулятор, що коригує ритм серцевих скорочень, загинув, потрапивши в зону дії потужного саморобного радіопередавача. За даними англійських дослідників, у людей, які часто і довго користуються мобільними телефонами, пухлини правої півкулі мозку зустрічаються втричі частіше. За статистикою, серед працівників Нью-Йоркської телефонної компанії хворих на онкологічні захворювання в 4,3 рази більше, ніж у середньому по місту. Спеціалісти Міністерства охорони здоров'я України попереджають про небезпеку з боку стільникового зв'язку. На їх думку, негативний вплив відчуває не лише мозок, а й ті органи, якими керують відповідні його відділи, найчастіше серцево-судинна, кровоносна та репродуктивна системи. Розмовляти безпечно не більше 3-х хвилин за один раз.

47. Відомо, що мембрани еукаріот здатні вибірково пропускати заряджені частинки – йони та електрони. Цей селективний транспорт робить можливим виникнення та розповсюдження нервового імпульсу, він підтримує виробництво клітинного пального – АТФ. Поясніть механізм виникнення нервового імпульсу.

Відповідь. Доведено, що мембранний потенціал є тією мовою, якою «розмовляють» клітини. Так, на мембрані нервового волокна постійно підтримується невеликий потенціал спокою порядку 40 мВ. Якщо зсунути внутрішньоклітинний потенціал приблизно на 20 мВ, то в клітину рухаються йони Натрію (їх багато у зовнішньому клітинному середовищі), тим самим ще

більше змінюючи внутрішній потенціал у позитивний бік. Внутрішній потенціал наближається до нуля, потім стає позитивним і досягає приблизно 50 мВ. Після цього струм у мембрані змінюється на зворотний. Тепер з клітини виходять йони Калію, а електричний потенціал спадає до значення спокою. Сплеск різниці електричних потенціалів між внутрішньою частиною клітини та зовнішнім середовищем і є нервовим імпульсом.

48. Які існують механізми здійснення в живих організмах транспорту різних речовин?

Відповідь. Оптимальною може бути така класифікація.

а) перенос речовин між різними органами (транспорт, який здійснюється кровоносною, травною, дихальною, видільною системами, робота секреторних залоз).

б) передача речовин всередині тканини (механізми транспорту у позаклітинних рідинах (крові, лімфи, а також міжклітинний перенос речовин через обмежені рецепторні ділянки - синапси).

в) транспорт, що здійснюється мембранними структурами клітини (фагоцитоз, піноцитоз, функціонування апарата Гольджі).

г) транспорт у клітині, що здійснюється окремими молекулами або їх комплексами (тРНК, спрямований перенос речовин через мембрани, поліферментні комплекси).

д) пересування речовин, в основі яких лежать фізичні і хімічні закономірності (дифузія, у тому числі через напівпроникні мембрани; підтримання градієнта концентрацій речовин за рахунок їх трансформації в організмі або обміну з зовнішнім середовищем; всередині і міжмолекулярні переутворення – як для вбудованих у мембрани, так і для інших речовин).

Тема 2. Цитоплазма клітин. Фотосинтез. Значення фотосинтезу.

49. Якщо сонячний спектр, який ми спостерігаємо у спектроскопі, спроектувати на екран, то це дає можливість вивчати швидкість фотосинтезу в різних променях – синіх, жовтих, зелених, червоних.

Вперше інтенсивність фотосинтезу в різних променях спектра досліджував фізик В. Домені. Яке відкриття зробив цей вчений?

Відповідь. У 1836 році В. Домені зробив важливе відкриття: зелений лист може здійснювати фотосинтез в окремих променях спектра, причому в залежності від характеру променів він протікає з неоднаковою швидкістю. Але на питання, в яких саме променях спектра фотосинтез протікає найбільш інтенсивно вчений не відповів. Причиною цьому були методичні прорахунки під час проведення експерименту. По-перше, вчений отримував промені, пропускаючи сонячне світло крізь кольорові скельця або забарвлені розчини. По-друге, він застосовував дуже примітивний метод інтенсивності фотосинтезу. Так, вчений вмщував частину пагона водної рослини елодеї у пробірку з водою зрізом вверху і рахував, скільки бульбашок кисню відривається

з поверхні зрізу за одиницю часу. В. Добені дійшов висновку, що інтенсивність фотосинтезу пропорційна яскравості світла, а найбільш яскравими променями на той час вважались жовті. Проте це твердження є протиріччям закону збереження енергії. Адже жовті промені мало поглинаються хлорофілом, тому вони не можуть бути головною рушійною силою процесу фотосинтезу.

50. Вагомий внесок щодо вивчення процесу фотосинтезу зробив російський вчений К.А. Тімірязєв. Що саме довів вчений у своїх дослідженнях?

Відповідь. К.А. Тімірязєв стверджував, що яскравість променів залежить від суб'єктивного сприйняття світла оком (сині промені здаються нам неясними, а жовті навпаки) і тому не може визначати інтенсивність засвоєння вуглекислого газу зеленими рослинами. Найбільш дієвими в процесі фотосинтезу можуть бути тільки ті промені, які поглинаються хлорофілом. Сконструйовані вченим прилади дозволяли значно підвищити точність досліджень. З допомогою цих удосконалених приладів К.А. Тімірязєв довів, що найбільш активно фотосинтез відбувається у червоних променях спектра, які інтенсивніше за інших поглинаються хлорофілом. У напрямку до зеленої частини спектра інтенсивність фотосинтезу послаблюється. У зелених променях вона мінімальна. І це цілком зрозуміло: адже хлорофілом вони майже не поглинаються. У синьо-фіолетовій частині спостерігається новий підйом інтенсивності фотосинтезу.

Таким чином, К.А. Тімірязєв встановив, що максимум засвоєння листком вуглекислого газу співпадає з максимумом поглинання світла хлорофілом. Тобто, він вперше експериментально довів, що закон збереження енергії справедливий і у відношенні до фотосинтезу. Зелений колір рослин зовсім не випадковий. У процесі еволюції вони пристосувались до поглинання саме тих променів сонячного спектра, енергія яких найбільш повно використовується у процесі фотосинтезу.

Сучасні дослідження цілком підтвердили правильність поглядів К.А. Тімірязєва відносно важливості для фотосинтезу саме червоних променів сонячного спектра. З'ясувалось, що коефіцієнт використання червоного світла в процесі фотосинтезу вище, ніж синіх променів, які також поглинаються хлорофілом. Червоні промені, за уявленнями К.А.Тімірязєва, відіграють основоположну роль у процесі побудови всесвіту і творення життя.

51. Герань і низку інших кімнатних рослин не рекомендують ставити таким чином, щоб на них падало пряме сонячне світло. Як ви вважаєте, у чому полягає шкідливий вплив такого освітлення на життєдіяльність рослин? За допомогою яких дослідів можливо перевірити ваші припущення?

Відповідь. Рослини використовують світло як для фотосинтезу, так і для регуляції ростових і біохімічних процесів. Декоративні рослини часто мають незвичне забарвлення, яке викликане пігментами: антоціанами, бета-антоціанами і т. ін. Синтез цих речовин залежить від світла; одні пігменти синтезуються у тіні, інші – при яскравому освітленні. В разі зміни освітлення декоративність рослин може знизитися (наприклад, зникає характерне крапчасте забарвлення). Деякі рослини, у даному випадку, герань на яскравому

світлі виділяє більше ефірних масел. Якщо ці масла можуть викликати опіки шкіри або неприємно пахнуть, то рослину краще не виставляти на сонячне світло.

У всіх цих випадках змінюються корисні для людини ознаки. Але є і більш вагомі причини ховати рослини від прямого світла. Здавалося б, чим більше світла отримує рослина, тим краще: більше буде продуктів фотосинтезу. Однак фотосинтетичний апарат рослин влаштований таким чином, що його треба оберігати від надлишку світла (як електроприлади від перенапруги у мережі). З великим потоком світла фотосинтетичний апарат може не справитися. Наприклад, у жару продихи рослин закриваються, CO₂ надходить мало. Виходить, що на його переробку потрібно мало світла. Але ж Сонце не виключиш. У такому разі рослина переключає фотосинтетичний апарат на «холостий хід», «ховає» хлоропласти, розміщуючи їх один під одним. Евкалипти, наприклад, розгортають листові пластинки ребром до сонця. Але всіх цих захисних заходів може не вистачити. І тоді в хлоропласті світло з допомогою хлорофілу починає збуджувати кисень, а збуджений кисень окислює білки, ліпіди та інші життєво важливі молекули. Виникає опік – листя вкриваються білими або бурими плямами. На щастя, рослини навчилися захищатися від активного кисню за допомогою каротиноїдів. Каротиноїди не дають хлорофілу збуджувати кисень, а кисню – окислювати інші молекули.

Кожна рослина «підбирає» співвідношення хлорофілу і каротиноїдів для такого освітлення, в якому звикло жити. У тіні більше хлорофілу і менше каротиноїдів. На яскравому світлі хлорофілу потрібно менше, а каротиноїдів – більше. Якщо різко посилити освітлення, то рослина не встигатиме синтезувати нові каротиноїди. Саме цим пояснюється поява опіків на листках кімнатних рослин або розсади, які без попереднього загартування виставили на яскраве сонце.

Вченим вдалось отримати мутантні рослини, які не здатні синтезувати каротиноїди. Такі мутанти швидко гинуть на яскравому світлі. Експериментально перевірити, чи є світло безпосередньою причиною загибелі рослини, досить складно. Можна, наприклад, виміряти концентрацію активних форм кисню у тіні і на яскравому світлі. Інший спосіб – визначити співвідношення хлорофілів і каротиноїдів у адаптованих і неадаптованих рослин одного виду.

Яскраве сонячне світло зазвичай супроводжує низька вологість повітря. Тіневитривалі рослини гинуть на сонці найчастіше саме через висушування. Листки тіневитривалих рослин вкриті тонкою кутикулою, їх продихи не вміють «вчасно» закриватися на сонці, провідна система й корені не встигають забезпечити листя водою. В цих умовах не врятує навіть посилене поливання.

Вологість повітря можна підвищити частими обприскуваннями, обмеженням потоків повітря. Якщо рослину при цьому вдається врятувати, то причина їх загибелі – не світло, а низька вологість повітря.

І останній фактор – перегрівання. Воно особливо небезпечне кореням рослин. У пористому горшку корені менше страждають від перегрівання, ніж у

пластиковому, у темному – більше, ніж у світлому. Для експериментальної перевірки цієї версії можна виміряти температуру ґрунту на прямому сонці, а потім взяти рослину і помістити її у тінь, створивши підвищену температуру. Якщо рослина загине, то виною є перегрівання, а не світло або вологість.

52. Вам вдалось виділити з листків рослин раніше невідомий пігмент. Після встановлення хімічної формули виявилось, що він не відноситься ні до хлорофілів, ні до каротиноїдів. Природно, вас зацікавив зв'язок цього пігменту з фотосинтезом. Як виявити: чи бере відкритий вами пігмент участь у фотосинтезі? Якщо так, то в якому конкретному процесі і які його дії?

Відповідь. У світловій фазі фотосинтезу є два етапи: а) вловлювання і передача кванту світла; б) перенос електрону до води і НАДФ⁺.

Для цих процесів важливі принципово різні характеристики виділеної речовини: для уловлювання і передачі світла – максимуми у спектрі поглинання, а для переносу електрону – окисно-відновлюваний потенціал. Послідовно розглянемо ці два параметри. Так, спектр поглинання заново відкритого пігменту може за своїми максимумами: а) відрізнятися від спектру хлорофілів і каротиноїдів; б) співпадати хоча б по одному з піків.

У першому випадку спектр може лежати в більш довгохвильовій області порівняно з хлорофілом *a*. В такому разі енергії квантів, що поглинуті новим пігментом, не вистачить для збудження молекули хлорофілу. Пігмент можна сміливо виключити із кандидатів у переносники квантів світла. Якщо ж пігмент здатен поглинати кванти світла, енергія яких може використовуватися хлорофілами, то потрібні додаткові експерименти. Наприклад, є сенс отримати залежність між довжиною хвилі світла і інтенсивністю виділення кисню рослиною. Якщо виділення кисню характеризується піком при тій довжині хвиль, які відповідають максимуму поглинання нового пігменту і низькому поглинанню для хлорофілів і каротиноїдів, це посередньо підтверджує участь відкритого пігменту у переносі квантів світла.

Якщо ж пік поглинання нового пігменту налягає на пік поглинання каротиноїдів або близький до нього, то потрібно шукати безкаротиноїдні мутанти і дослідити, чи спроможні рослини обійтись при фотосинтезі лише комбінацією «хлорофіли + новий пігмент». Правда, якщо світло повинно падати спочатку на заново відкритий пігмент, потім на каротиноїди, і лише потім – на хлорофіл, дослід теж дасть негативний результат. Але це можливо лише у тому випадку, коли пігмент поглинає ще більш багаті енергією кванти світла, ніж каротиноїди.

Можна спробувати відшукати мутантні рослини, які не мають досліджуваного пігменту, і подивитися, чи не знижений у них фотосинтез порівняно з нормальними рослинами. Але і у цьому досліді можливе неоднозначне трактування отриманих результатів.

Взагалі, корисно накопичити інформацію про те, у яких тканинах і клітинах міститься цей пігмент і як змінюється його концентрація в різних умовах. Варто також дізнатися, чи міститься новий пігмент в рослині все життя

в одній і тій же концентрації або ж його концентрація змінюється. Ці дані дозволяють виробити низку гіпотез. Якщо пігмент ніде не присутній, крім розкритих квітів, і при цьому надає їм забарвлення, що різко відрізняється від кольору листків або інших надземних органів, то найбільш вірогідно, що він слугує для залучення запилювачів і ніяких інших функцій не має. Якщо ж пігмент присутній у різних органах, то можна передбачити, що його функції більш обширні. Наводячи досліди з культивуванням рослин при різних поєднаннях екологічних факторів (освітлення, полив, мінеральне живлення, середньодобової температури), ми накопимо інформацію про те, як змінюється вміст пігменту в оптимальних і стресових для рослини ситуаціях.

Безперечним підтвердженням участі пігменту у переносі квантів світла є біохімічний аналіз. Якщо пігмент виділяється разом із світлозбираючими або антенними комплексами, то велика вірогідність його участі у фотосинтезі. Якщо ж пігмент виділяється разом з іншими компонентами клітини рослин (цитоплазмою, вакуолями), то він не бере участь у переносі кванту світла – як і у фотосинтезі взагалі. Інший шлях розв'язання цієї задачі – введення у культивовані тканини рослин радіоактивно міченого пігменту з наступною електронною мікроскопією.

1. Після вимірювання окисно-відновлюваного потенціалу молекули пігменту може виявитися, що він: а) знаходиться в діапазоні, що охоплюється електрон-транспортним ланцюгом фотосинтезу; істотно вище або нижче величин із цього діапазону.

У другому випадку пігмент однозначно не бере участь у переносі електронів.

Розглянемо перший випадок. На відміну від передачі квантів світла, для переносу електронів однозначні висновки, які ґрунтуються на величині потенціалу, зробити неможливо. Пігмент може володіти прийнятними енергетичними ознаками, але не включиться у просторові структури, які здійснюють послідовний перенос електронів. Для підтвердження участі пігменту у цих етапах фотосинтезу потрібні досліди зі штучними донорами і акцепторами, які подають або знімають електрони у строго визначених ділянках електрон-транспортного ланцюга, а також досліди зі специфічними блокаторами електронного транспорту. Якщо блокувати електрон-транспортний ланцюг вище досліджуваного пігменту, то він повинен перейти в окиснену форму. Якщо на отриманому фоні додати донор електронів, то пігмент повинен відновитися. При блокаді електрон-транспортного ланцюга нижче пігменту він повинен відновитися, а при наступному добавленні акцептора – окислитися до урівноваженого стану. Відсутність описаних змін у дослідах з різними ділянками електрон-транспортного ланцюга свідчить про те, що пігмент у даному процесі не бере участь.

Підтвердженням участі пігменту в електронному транспорті можуть слугувати результати дослідів з мутантами, у яких синтез цього пігменту порушений. У них перенос електронів переривається у певній точці і відновлюється при добавленні у клітину пігменту.

Але пігмент зовсім не повинен бути фотосинтетичним. За аналогією з відомими пігментами рослин можна передбачити наступні альтернативні функції.

Відкритий вами пігмент створює сигнальне випромінювання, залучаючи запилювачів або відлякуючи пожежачів.

1. Пігмент екранує від випромінювань якісь клітинні структури або речовини.

2. Він сприймає світло для регуляції якихось процесів у рослин (росту, морфогенезу, цвітіння, проростання насіння, з дотриманням біоритмів).

3. Пігмент використовується для поглинання теплового випромінювання.

4. Нарешті, функція цієї речовини може бути взагалі не пов'язана з його забарвленням. Наприклад, це – відходи метаболізму рослин, який використовується хіба що для захисту (володіє неприємним смаком і відлякує пожежачів).

53. Чому у зелених листках на світлі утворюється переважно крохмаль, а не інші органічні речовини?

Відповідь. Вдень на світлі утворюється «первинний» (асиміляційний) крохмаль. Вночі він поступово перетворюється на розчинні вуглеводи (глюкоза, сахароза) і відтікає до інших органів, де відкладається про запас («вторинний» крохмаль). Утворення асиміляційного крохмалю – це пристосування, що виробилось у процесі еволюції для запобігання підвищення осмотичного тиску у фотосинтезуючих клітинах листка. Крохмаль – це осмотично неактивна речовина. Накопичення його, на відміну від накопичення глюкози або сахарози, не приводить до підвищення осмотичного тиску, не порушує фотосинтез і інші фізіологічні процеси у клітинах листка.

54. Чому не буває озимих рослин, які цвітуть при короткій добі?

Озимими називаються рослини, сходи яких з'являються із насіння восени, зимують під снігом зеленими, а весною продовжують свій розвиток і переходять до цвітіння. Зрозуміло, що такий розподіл життєдіяльності за порами року необхідно лише в помірних і приполярних широтах, тому що тропічні рослини не стикаються з негативними температурами протягом року (високогірні тропічні рослини ми не беремо до уваги). Тому, спостерігається цікава закономірність – серед озимих рослин немає короткодобових, тому що цвітіння в умовах короткої доби властиво лише рослинам, які за своїм походженням із тропіків і не мають пристосувань для виживання у холодний період. Крім того, для формування в озимих рослин генеративних органів необхідний тривалий вплив низьких температур – яровизація. Через це їх сходи не можуть швидко розвинутиися і перейти до цвітіння протягом осені, до появи морозів. А через короткий день вони не можуть зробити це і ранньою весною, навіть якщо її температурні умови сприятливі для росту. Пристосувальний сенс такої відповідності фізіологічних ознак зрозумілий: фотоперіодизм і яровизація приводить до того, що цвітіння озимих припадає саме на той період року (середину літа), коли у помірних широтах майже стовідсотково гарантовані сприятливі умови для утворення наступного покоління.

Озимі рослини - хлібні злаки – не мають запасу речовин у підземних чи надземних органах для того, щоб використати їх для цвітіння. Тому, їм потрібно у максимально стислі терміни сформувати листову масу, достатню для накопичення продуктів фотосинтезу до того часу, який буде сприятливим для цвітіння і досягання зерна. Вони «придумали» оригінальний спосіб: проростати ще восени, формуючи кореневу систему і деяку кількість зелених листків і у такому зеленому вигляді йти під сніг. Ранньою весною, коли інші рослини лише починають розвиток із насіння, бульбокоренів, цибулин, кореневищ, у озимих злаків розвиток вегетації вже продовжується. Таким чином, вони отримують серйозну перевагу в часі. Оскільки озимим рослинам «безглуздо» цвісти восени при короткому дні, то у них сформувався потрібний гормональний баланс: недолік гібереліну не дозволяє їм перейти до цвітіння. Яровизація приводить до збільшення рівня гібереліну, що пришвидшує цвітіння озимих злаків. Але воно не може розпочатися ранньою весною, коли день також короткий, тому що рослина повинна стати компетентною, тобто досягти певної стадії розвитку, коли вона здатна сприймати сигнали і реагувати на них. Ближче до середини довгого дня у помірних широтах рослини озимих злаків вже сформовані і накопичили цукри, швидко «виходять у трубку» - виганяють квітконос і зацвітають.

Підготовка сходів озимих до зимівлі починається з того, що у їх тканинах знижується концентрація ауксину і гібереліну (тобто стимуляторів росту вегетативних і генеративних органів) і підвищується концентрація абсцизової (тобто інгібітора всіх ростових процесів). Зміна співвідношення концентрацій цих гормонів відбувається під впливом вкороченого світлового дня і приводить до того, що рослина поринає в стан спокою. Зрозуміло, що восени після цього моменту день буде продовжувати скорочуватися, так що сильних стимулів для пробудження у рослин не буде, навіть якщо температура повітря й ґрунту ще довго буде залишатися на рівні літніх значень. Тепла погода може лише стати на заваді другому підготовчому процесу – загартуванню рослин. Загартування вбачається насамперед у тому, що у цитоплазмі клітин накопичується велика концентрація асимілянтів (це не лише цукри, але й водорозчинні білки, які синтезовані із амінокислот, в які перетворюється частина молекул цукрів) цитоплазма клітин стає в'язкою, набуває здатності не замерзати при 0°C (як у будь-якого концентрованого розчину, температура її замерзання стає нижчою, ніж у чистої води). Крім того, у процесі загартування всі клітини звільняються від води, і рослина активно випаровує її (продихи можна тримати відкритими, тому що не жарко). Сигналом до початку процесів загартування як раз і слугує зниження температури навколишнього середовища; при потеплінні ж ці процеси можуть досить швидко «повернути назад», але все-таки пробудження із спокою і відновлення ростових процесів не відбудеться, поки не зміниться баланс гормонів у тканинах молоді рослини, а він, регулюється довготою світлового дня. Тому навіть під час ранньої, теплої весни озимі рослини не можуть швидко перейти до цвітіння. Найбільш невиясненим на цей час

залишається питання про те, яким способом і чому можуть впливати на формування генеративних органів низькі температури.

55. Чому CO_2 , якого дуже мало в атмосфері (0,03%), інтенсивно надходить у листок?

Відповідь. Механізм надходження CO_2 у листок оснований на різниці градієнта його концентрації між поверхневими тканинами листка і клітинами, в яких відбувається фотосинтез. Саме цей градієнт забезпечує дифузію CO_2 у листок. У листку, за участю фермента карбоангідрази, відбувається перетворення CO_2 у карбонатний або бікарбонатний йон, що полегшує транспорт у строму хлоропласта (до фотосинтезуючих центрів). Повітряна порожнина продихів звільняється від CO_2 , що створює умови для надходження нових порцій CO_2 із зовнішнього середовища.

56. Як ви вважаєте, якою має бути оптимальна концентрація CO_2 для фотосинтезу?

Відповідь. При коротких експозиціях підвищення концентрації вуглекислого газу у 3-10 разів (тобто доведення концентрації його до 0,3%) приводить до різкого збільшення інтенсивності фотосинтезу (у 2-5 разів). Найбільш помітні ці зміни при одночасному посиленні потоку освітленості. Однак в разі тривалої дії високої концентрації CO_2 настає гальмування фотосинтезу.

57. Яке пристосувальне значення має різне співвідношення хлорофілів «а» і «в» у С-3 рослин ($a/v=3$) і С-4 рослин ($a/v=4$) ?

Відповідь. Рослини з С-4 типом фотосинтезу – це рослини тропічної і субтропічної зон, адаптовані до високої освітленості і мають значно більший відносний вміст хлорофілу «а». Максимум поглинання квантів світла цього хлорофілу знаходиться у довгохвильовій частині червоного спектру, на яке багате яскраве світло.

58. Чому тіньовитривалі рослини ефективніше використовують світло низької інтенсивності, ніж світлолюбні рослини? (для відповіді використайте таблицю).

Таблиця

Вміст хлорофілу у листках (у % від сухої ваги (Б.А. Рубін, 1976 рік)

Об'єкт	Хлорофіл «а»	Хлорофіл «в»	Хлорофіл «а/в»
Бузина:	0,58	0,22	2,6
сонячні листки	0,79	0,39	2,0
тіньові листки			
Платан:			
сонячні листки	0,53	0,15	3,5
тіньові листки	0,85	0,27	3,2

Відповідь. Листя тіньовитривалих рослин містять відносно більше хлорофілу на відміну від світлолюбних. Крім того, співвідношення хлорофілів («а» і «в») зсунуто в бік збільшення хлорофілу «в». У світлолюбних рослин співвідношення хлорофілів біля 3,9, у тіньовитривалих близько до 2,3. Відзначені кількісні і якісні зміни зелених пігментів у тіньовитривалих рослин

дають їм можливість вловлювати падаючу на них світлову енергію (меншої інтенсивності і зміненого спектрального складу).

59. Відомо, що квантовий вихід фотосинтезу можна збільшити, якщо замість неперервного освітлення подавати світло короткими спалахами, чергуючи їх з більш тривалими темновими інтервалами. Яким чином пояснити це явище?

Відповідь. Темнові реакції (біохімічні, що регулюються ферментом) протікають набагато повільніше (у сотні і тисячі разів), ніж світлові. Тому темнові реакції гальмують (лімітують) швидкість перетворення світлової енергії у хімічну. Якщо збільшити інтервал темного періоду, то можна скоротити витрати світлової енергії, але зберегти на тому ж рівні інтенсивність фотосинтезу. З допомогою подачі світла короткими імпульсами можна значно підвищити ККД фотосинтезу.

60. Гілочка елодеї, занурена у воду, освітлюється променями спектра світла однакової інтенсивності: а) червоним; б) синім. У яких променях інтенсивність фотосинтезу, судячи по виділенню кисню, буде вища?

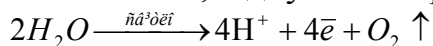
Відповідь. Більше кисню буде виділятися в разі освітлення гілочки елодеї червоним світлом, ніж синім. Це пов'язано з тим, що при однаковій енергії освітлення червоні промені спектра містять у 1,4 рази більше квантів, ніж сині. Енергія одного кванта променів червоного світла (довжина хвилі 700 нм) дорівнює 1,77 електрон/вольта (ев); енергія променів синього світла (довжина хвилі 500 нм) дорівнює 2,48 електрон/вольта (ев). Інтенсивність фотосинтезу пропорційна кількості квантів, вловлених хлорофілом.

61. Відомо, що в хлоропластах молекули хлорофілу розміщуються не хаотично, а утворюють так звані фотосинтетичні одиниці. Що являють собою фотосинтетичні одиниці? Яке вони мають улаштування та які функції виконують?

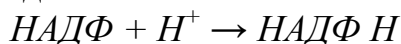
Відповідь. Фотосинтетичні одиниці являють собою пастки для квантів. Кожна така фотосинтетична одиниця складається із 200-250 молекул хлорофілу, але тільки одна з них безпосередньо бере участь у передачі енергії світла для синтезу органічної речовини. Всі інші служать для сприйняття світлової енергії і передачі її на цю молекулу. Таке улаштування фотосинтетичної одиниці дозволяє повніше використовувати енергію світла і забезпечує неперервність процесу фотосинтезу. Якщо б кожна молекула хлорофілу безпосередньо передавала кванти світла на синтез органічних речовин, процес протікав би переривчасто. Цікаво відзначити, що молекула-пастка, до якої стікаються кванти від молекул-сусідок, відрізняється від них тим, що поглинає світло з великою довжиною хвилі. Це пояснюється тим, що, хоча передача енергії від однієї молекули пігменту до іншої проходить з великою швидкістю, частина її все ж втрачається. В зв'язку з цим запас енергії в квантах зменшується, а довжина хвилі збільшується. Для того щоб кванти з меншим запасом енергії були сприйняті і задіяні у фотосинтезі, існують молекули хлорофілу, які сприймають саме ці «полегшені» кванти. Переміщення енергії у зворотному напрямку у фотосинтетичних одиницях неможливе.

Фотосинтез – складний багатоступеневий процес. Виникає питання: на якому саме етапі необхідна енергія світла? З'ясувалось, що реакції синтезу органічних речовин, включення вуглекислого газу до складу їх молекул безпосередньо енергії світла не потребують. Ці реакції назвали темновими, хоча протікають вони не лише у темноті, але й на світлі, просто світло для них не є обов'язковим. А ось для перебігу так званих світлових реакцій фотосинтезу, в основі яких лежить світловий розклад (фотоліз) молекул води, виділення кисню, утворення аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ) і відновленої речовини нікотинамідаденіндинуклеотид (НАДФ Н) воно необхідне. НАДФ Н утворюється внаслідок приєднання до НАДФ водню, який виділяється при фотолізі молекул води (фотоводню).

Коли квант світла сприйнятий молекулою хлорофілу фотосинтетичної одиниці, передається на центральну молекулу, вона збуджується, її електрон переміщується на більш високий енергетичний рівень, покидає молекулу-пастку і надходить до ланцюга транспорту електронів, з'єднаного з фотосинтетичною одиницею. Ланцюг переносу електронів складається з окисно-відновних ферментів, розміщених у певній послідовності. З їх допомогою електрони поступово звільняються від надлишку енергії, яка переходить в енергію макроергічних зв'язків молекул АТФ, які утворюються шляхом приєднання залишків молекул фосфорної кислоти до АДФ кислоти. Після цього електрон повертається до вихідної молекули хлорофілу (молекули-пастки). Такий тип утворення АТФ у процесі фотосинтезу називається циклічним. Але в електрона, який надійшов від молекули-пастки до ланцюга транспорту, може бути й інший шлях – до НАДФ, якому він передає негативний заряд. У цьому випадку молекула хлорофілу, яка віддала електрон, заповнює електронну вакансію за рахунок іншої молекули пігменту, збудженого квантом світла. Коли електрон рухається на місце, що звільнилось, утворюється АТФ, відбувається розклад молекул води і виділення кисню.



Електрони, які звільнились у процесі цієї реакції, заповнюють електронну вакансію другої молекули хлорофілу а ось протони Н рухаються до НАДФ і взаємодіють з ним:



Таким чином, в разі руху збуджених електронів від молекул-пасток по ланцюгу транспорту відбувається утворення АТФ і НАДФ Н – речовин, багатих енергією. Ось вони і використовуються безпосередньо у процесі синтезу органічних речовин із неорганічних, у так званих темнових реакціях фотосинтезу.

62. Взимку нам здається, що ліс немає ознак життя. У цю пору року у рослин різко загальмований обмін речовин, інтенсивність дихання у 200-400 разів менше, ніж влітку, призупиняється видимий ріст. Однак процеси життєдіяльності протікають і крохмаль перетворюється на цукри й жири, а цукор витрачається у процесі дихання. Як ви вважаєте, чи можливий процес фотосинтезу в рослин взимку? (Зважте на те, що це не

відноситься до листопадних рослин, а мова йде про хвойні дерева і деякі куці, які зберегли свій фотосинтетичний апарат).

Відповідь. Так можливий. Вчені встановили, що озимі злаки, хвойні і деякі листяні вічнозелені рослини засвоюють вуглекислий газ навіть при температурі $-1-5^{\circ}\text{C}$. Використання методу мічених атомів дозволило вченим більш детально з'ясувати це питання. Так, при зниженні температури до -12°C швидкість фотосинтезу у різних рослин знижувалась у 3-17 разів. Найбільш стійкими виявились Ялина звичайна, Сосна звичайна, Ліннея північна - низькорослий куц, лишайник – Леканора темна. Деякі мохи продовжували засвоювати вуглекислий газ навіть при температурі -14°C , причому цей процес протікав успішно під порівняно товстим сніговим покривом, який досягав 26 см. Хоча інтенсивність світла, що проникало через такий шар снігу, послаблювалась приблизно у 20 разів, швидкість фотосинтезу і у вкритих й не вкритих снігом рослин майже однакова. Цей дивний факт можна пояснити таким чином: під снігом рослини знаходились у більш сприятливих температурних умовах, які й дозволили їм компенсувати падіння фотосинтезу, яке було викликано зниженням освітленості. Ці дослідження переконливо свідчать про те, що в умовах тривалої зими фотосинтез не лише можливий, але й необхідний для нормального енергозабезпечення зимових зелених рослин.

63. Велике значення для ефективного уловлювання світла має архітектоніка рослини, під якою розуміють розміщення її органів у просторі. Завдяки яким пристосуванням рослини використовують як пряме, так і розсіяне світло, що падає під різними кутами?

Відповідь. Рослина може використовувати і пряме, і розсіяне світло, яке падає під різними кутами, завдяки великій листовій поверхні і певному розміщенню листків у просторі. Так, наприклад, у високопродуктивних зернових культур, листя на стеблі знизу вгору розміщується під кутом, що поступово зменшується, і тому не затіняє одне одного. Сорти культурного буряку відрізняються від своїх диких форм ліycopодібним розташуванням листків і таким чином можуть уловлювати у 2-3 рази більше сонячної енергії.

Для характеристики листової поверхні рослин використовують спеціальний показник – індекс листової поверхні (ІЛП). Він являє собою відношення загальної площі всіх листків рослини до площі ґрунту, яку займає ця рослина. Для культурних рослин помірної зони середнє значення ІЛП коливається від 3 до 5, у південних широтах з вологим кліматом – від 8 до 10. Так, поверхня листків зернових культур на одному гектарі (10 тис. m^2) складає у фазі цвітіння 20-40 тис. m^2 , а у низькорослих (карликових) яблунь 25-30 тис. $\text{m}^2/\text{га}$. Таким чином, ІЛП у зернових – 2-4, а у яблуні – 2,5-3.

Архітектура засіву може змінюватися в онтогенезі рослини і залежить від умов освітлення. Наприклад, після появи сходів, коли індекс листової площі ще невеликий, найбільш доцільне горизонтальне, а не вертикальне розміщення листків. В міру збільшення ІЛП розташування верхніх листків поступово наближається до вертикального. Завдяки такій архітектоніці рослин світло

проникає до нижніх ярусів листків, а це забезпечує збільшення коефіцієнту корисної дії фотосинтетиків.

64. Основою життєдіяльності рослин є численні біохімічні процеси, для яких необхідна не тільки світлова, а й теплова енергія. У літньому пору, опівдні, надходження сонячної радіації на 1м² складає біля 30·10⁵ Дж/год. Біля половини цієї енергії припадає на інфрачервону (теплову) радіацію. Охарактеризуйте тепловий баланс листка рослини. Чи можливий ріст рослин при різних температурах і чим він визначається?

Відповідь. Листя рослин поглинає біля 25% теплових променів сонця, відбивають 45% і пропускають 30%. Значна частина поглинутої рослиною енергії витрачається на випаровування води – транспірацію (95-98%), а також розсіюється у навколишнє середовище.

Ріст рослин можливий у досить широкому діапазоні температур і визначається географічним походженням і сортовими особливостями рослин. Так, для переважної більшості культурних рослин України нижня температурна межа відповідає температурі замерзання клітинного соку (біля 1-3°C нижче нуля), верхня - температурі коагуляції білків цитоплазми (біля 60°C вище нуля). Для появи сходів потрібна більш висока температура, ніж для проростання насіння (див. табл.1).

Табл.1.

Мінімальні температури розвитку насіння культурних рослин

Культура	Температура °C	
	проростання насіння	поява сходів
Гірчиця	0-1	2-3
Жито, пшениця, ячмінь, овес, горох	1-2	4-5
Льон, гречка, буряк, боби	3-4	5-6
Соняшник	5-6	7-8
Кукурудза, соя, просо	8-10	10-11
Квасоля, сорго	10-12	12-13
Рис, бавовник	12-14	14-15

При аналізі росту рослин вчені виділяють три температурні точки: мінімальну (ріст тільки починається), оптимальну (вона найбільш сприятлива для росту) і максимальну температуру (вище її ріст припиняється). За цим параметром розрізняють такі групи рослин: теплолюбні (кукурудза, огірки, гарбузи, диня) – мінімальні температури більше 10°C і оптимальна – 30-35°C; холодостійкі (жито, ячмінь, конюшина) – мінімальні температури в межах -5°C, оптимальні – 20-25°C. Максимальні температури для більшості рослин лежать в межах 37-44°C. При збільшенні температури на 10°C (у зоні оптимальних значень) швидкість росту збільшується у 2-3 рази. Підвищення температури вище оптимальної уповільнює ріст і скорочує його період. Оптимальна температура для корневих систем нижча, ніж для надземних органів. Цікавим

є те, що на ріст багатьох рослин позитивно впливає зміна температури протягом доби. Так, для рослин томата оптимальна температура вдень - 26°C, а вночі – 17-19°C. В цілому для рослин помірного поясу доцільна різниця між денними і нічними температурами складає 5-7°C, а для тропічних рослин – 3-6°C.

65. Разом з іншими екологічними факторами (забезпеченість рослин світлом, теплом, водою і мінеральними речовинами) важливою умовою високої ефективності фотосинтезу слугує оптимальна концентрація вуглекислого газу у повітрі, що оточує рослину. Також відомо, що звичайна концентрація вуглекислого газу в атмосфері складає 0,030-0,034% і зовсім не є оптимальною для фотосинтезу. Для більшості культурних рослин вона складає 0,3-0,6%, тобто більше ніж у 10 разів перевищує реальну концентрацію. Крім того, у глибині травостою концентрація CO₂ нерідко знижується до 0,025-0,027% і стає фактором, суттєво обмежуючим масштаби фотосинтезу. Вчені підраховали, що для отримання високих врожайів (наприклад, врожаю зерна у 6т/га) рослина на «ніці» активності повинна щоденно поглинати 2000 кг/га CO₂. Однак у глибині посіву в цей час знаходиться не більше як 5-6 кг/га CO₂, тобто у 150-300 разів менше потрібної кількості. Яким чином рослина долає дефіцит CO₂?

Відповідь. По-перше, завдяки тому, що за 16 годин літнього дня (внаслідок конвекції і турбулентного перемішування) відбувається біля 1500-3000 змін повітря у товщі посіву. По-друге, листки рослин добре пристосовані до швидкого поглинання CO₂. Як показали досліди, в одному продику епідерми листка за одну секунду у міжклітинники надходить 2500 млрд. молекул CO₂. До того ж за рахунок міжклітинників губчастої паренхіми листка площа активного поглинання CO₂ збільшується у 8-12 разів порівняно із зовнішньою поверхнею листка. А якщо ми пригадаємо, що листовий індекс (ЛІП) наших рослин складає біля 5, то отримуємо таку схему: 1 га посіву → 5 га площі листків → 50 га поверхні міжклітинників. Таким чином, рослини на площі в 1 га мають 50 га поверхні, що поглинає CO₂. Ця особливість листового апарату рослин є відображенням загальнобіологічної тенденції – створення великих внутрішньої робочої поверхні при порівняно невеликих зовнішніх випаровуючих площах.

Свій «внесок» у забезпечення рослин вуглекислим газом вносять ґрунтові мікроорганізми, які здійснюють біологічну деструкцію органічних зв'язків ґрунту. А допомагає їм у цьому землероб, вносячи у ґрунт органічні добрива (компости, гній і т. ін.). Джерелом вуглекислого газу також слугує вапно і деякі мінеральні добрива (сечовина, поташ).

50. Сонячна радіація слугує не тільки енергетичним ресурсом, але й здійснює на рослини потужний регуляторний сигнальний вплив. Які ж явища у рослин визначає світло?

Відповідь. Світло визначає такі явища, як фотоперіодизм, фототропізми, фотоморфогенез та ін. Від світла залежать процеси росту і розвитку рослин, що визначають його форму і структуру. Ці, залежні від світла, явища отримали

назву фотоморфогенезу. Завдяки реакції на світло, рослина набуває оптимальну форму для поглинання світла в конкретних умовах проростання. Так, при інтенсивному світлі ріст стебла уповільнюється, а при нестачі світла, навпаки, стебло витягується – рослина тягнеться до джерела світла. У затінку у рослини виростають крупніші листки, ніж на світлі. Ці приклади демонструють затримуючий вплив світла на ріст рослини.

66. Вчені виявили, що найбільший регуляторний вплив мають червоні й синьо-фіолетові промені Сонця, і це не випадково. Відомо, що залежно від висоти Сонця над горизонтом закономірно змінюється спектральна характеристика потоку радіації, що падає на поверхню землі. Коли сонце в зеніті, в потоці переважають синьо-фіолетові промені, а коли воно знаходиться низько над горизонтом – червоні промені.

Чи здатні рослини розрізняти червоні і синьо-фіолетові промені та орієнтуватися у часі?

Відповідь. Дійсно, рослини розрізняють червоні і синьо-фіолетові промені, орієнтуються у часі і завдяки цьому можуть включати і виключати відповідні ферментативні процеси. Як свідчать дослідження, у рослин працюють дві пігментні системи фоторецепторів. В основі однієї з них знаходиться синьо-зелений пігмент фітохром – складний білок хромопротеїн, який реагує на червоне світло. Друга система забезпечує поглинання синьо-фіолетової частини спектра, тут працює жовтий пігмент – рибофлавін, який отримав назву криптохрому.

67. Пігмент фітохром, що відповідає за поглинання червоного світла, перебуває в рослині у двох формах, які називають Ф-730 (цифри вказують на довжину хвилі, на ділянці якої світло максимально поглинається ферментом).

При опроміненні рослини червоним світлом (довжина хвилі – 660 нм) фітохром Ф-660 переходить у фізіологічно більш активну форму Ф-730.

Які реакції і процеси контролює ця форма фітохрому?

Відповідь. Ця форма фітохрому контролює у рослин більшість реакцій і процеси морфогенезу, активність ферментів, швидкість росту й диференціації органів, ростові рухи і таке інше. Активна форма фітохрому нестабільна, при білому світлі вона повільно розкладається, а у темряві руйнується або під дією віддаленого світла (довжина хвилі 730 нм) відновлюється в менш активну форму (Ф-660 нм). Таким чином, система забезпечує запуск реакцій рослини, обумовлених переходом від темряви до світла. Як виявилось, ці реакції запускаються у тому випадку, якщо 50% фітохрому представлено активною формою Ф-730. Яку ж дію здійснює червоне світло на рослину? Воно гальмує поділ клітин і стимулює їх подовження, рослина витягується, стебло у неї стає тонким. Такі рослини ми можемо зустріти у загущених посівах культурних рослин або у густому лісі.

З активністю пігменту фітохрому вчені пов'язують роботу «біологічного годинника» рослин. Найважливіша функція такого годинника – реєстрація довжини світлового дня, яка забезпечує перехід рослини до цвітіння або стану

спокою. Таким чином, червоне світло визначає фотоперіодичну реакцію рослин, регулює початок цвітіння, старіння і опадання листя, перехід рослин у стан спокою та інші важливі для них процеси.

68. Якщо пробірку з витяжкою хлорофілу помістити проти сильного джерела світла і подивитися на неї, то витяжка хлорофілу буде червона, як кров. Чому?

Відповідь. Цей дослід дає нам можливість спостерігати за явищем флуоресценції, яке припиняється одночасно з припиненням освітлення. При флуоресценції відбувається збудження атомів, які під дією світла випромінюють свою довжину світлової хвилі з певною частотою коливань, що призводить до зміни кольору у спектрі.

69. Як працює у рослин друга пігментна система, що забезпечує поглинання синьо-фіолетової ділянки спектра? В яких випадках людина використовує додаткове освітлення рослин синім світлом?

Відповідь. Синьо-фіолетове світло також регулює процеси росту і розвитку рослин. Але, на відміну від червоного світла, сині промені стимулюють поділ клітин і затримують їх розтягнення. Тому, наприклад, рослини високогірних альпійських лук зазвичай низькорослі, і здебільшого мають форму розеток. Синє світло викликає фотоперіодизм – вигин проростка та інших осьових органів рослини. У загущених посівах, через нестачу світла (і переважання червоного світла), рослини витягуються і нерідко полягають. Таке саме явище спостерігається і в теплицях, скляна поверхня яких затримує сині і синьо-фіолетові промені. В разі, коли людина використовує додаткове освітлення рослин синім світлом, можна отримати в теплицях високі врожаї листя салату, коренеплодів редиски та інших культур.

Таким чином, у розглянутих вище явищах світло виступає як подразник, який необхідний лише для запуску різних фізіологічних процесів. При цьому витрачається мала кількість енергії, тоді як для ростових процесів потребується багато енергії.

Вплив спектрального складу світла на рослини обов'язково враховують при підборі штучного випромінювання (у світлолюбних культур). У спектрі джерела випромінювання повинні бути всі ділянки видимого світла, з переважанням червоних, синіх і фіолетових променів, а також невелика кількість ультрафіолетової радіації.

70. Загальновідомо, що на життя рослин суттєво впливає як добова, так і сезонна динаміка температури. Чергування високих і низьких температур слугує регулятором внутрішніх годинників рослин і здійснює суттєвий вплив на їх ріст і розвиток.

Яку назву отримало це явище? Доведіть, на конкретних прикладах, що температура середовища може бути для рослин не тільки енергетичним ресурсом, але й сигнальним (інформаційним) екологічним фактором.

Відповідь. У регуляції розвитку рослин важливу роль відіграють температури нижче оптимальних для процесів росту. Дія таких температур активує

проростання насіння, переривання спокою і підготовку до формування квіткових бруньок. Низькі температури можуть здійснювати стимулюючу дію і на цвітіння рослин. Це явище отримало назву яровизації. У відношенні до яровизації можна виділити дві групи рослин – озимі і ярові.

Озимі рослини переходять до цвітіння і репродуктивного розмноження лише під впливом знижених температур. До цієї групи відносять багато однорічних, дворічних і багаторічних рослин (пшениця, жито, ячмінь, конюшина та інші). Озимі висівають в кінці літа – восени. Вони зимують, а на наступний рік приступають до цвітіння і розмноження. Наприклад, для яровизації озимої пшениці найефективніші температури від 0 до 5°C, для сливи – 10-13°C, а для бавовника – 20-25°C. Тривалість неперервної дії пониженими температурами (яровизація) складає зазвичай 35-60 діб.

Ярові рослини, на відміну від озимих, не потребують дії низьких температур для переходу до цвітіння. У деяких випадках дія низьких температур може бути замінена дією синього і червоного світла при певній довжині світлового дня. Це свідчить про тісний зв'язок між регулюючою дією на рослину світла і тепла – важливих параметрів сонячної радіації.

71. Які можливі способи захисту клітин рослин від температурного ушкодження?

Відповідь. Різноманіття температурних умов на Землі призвело до виникнення екологічних груп рослин, які по-різному пристосувалися до дії цього фактора.

Розрізняють пристосованість двох типів: пристосованість до перенесення короткотривалого впливу крайніх температур і «незвичних» для даної рослини; пристосованість до постійного впливу високих або низьких температур, характерного для природного місця зростання рослин.

В разі значних відхилень від «звичних» температур рослини гинуть. За низьких негативних температур всередині клітин або у міжклітинному просторі починається утворення льоду. Кристали льоду, що ростуть всередині клітини пошкоджують мембрану, від чого порушується вибіркова проникність клітини, мембранозв'язані білки і метаболіти виходять у цитоплазму і безконтрольно взаємодіють між собою, що приводить до дезорганізації всіх життєвих процесів. Кристали льоду, які утворюються між клітинами, відтягують воду з клітин, внаслідок чого скорочується клітинний об'єм, клітина натягується між цитоплазмою, яка стягується, і клітинною стінкою і лопається.

Високі температури також впливають головним чином на мембрани, при цьому порушуючи їх проникність для різних речовин, із «клітинних депо» в цитоплазму виходять ферменти, гідролізуючі білки, і аміак, який при цьому виділяється, згубно впливає на клітину. До дії високих температур дуже чутливі фотосинтезуюча система й дихальні ферменти. Фотосинтез придушується, дихання посилюється.

Захист клітин від таких пошкоджень здійснюється на фізіолого-біохімічному рівні. При екстремальних високих температурах у клітин рослин призупиняється основний синтез і починають синтезуватися так звані білки

теплового шоку. Припускають, що вони оберігають клітину від перегрівання, перешкоджаючи руйнуванню мембран, розпаду основних клітинних білків. Такі ж самі білки-захисники з'являються і при низьких температурах. Починають синтезуватися осмотично активні речовини. Мембрани клітин теж здатні швидко перебудовуватися: при низьких температурах вони стають більш текучими, а при високих, навпаки. жорсткими, що дозволяє зберегти цілісність клітини.

У рослин, які ростуть у північних широтах пристосованість до перенесення низьких температур обумовлена особливою структурною організацією клітини. Клітини паренхіми у північних рослин містять різноманітні включення: олії, слиз, цукри, інулін – справжні «рослинні антифризи», які упереджують утворення криги у клітині.

Стовпчастій асиміляційній тканині північних рослин притаманна дрібноклітинність, що також має пристосувальне значення. Як відомо, у дрібних клітин відношення площі поверхні до об'єму більше, ніж у крупних клітин, тому в разі зниження температури дрібні клітини можуть швидко зневоднитися, і крига в них не утвориться. До того ж ці клітини мають жорстку і товсту клітинну стінку, що перешкоджає стисканню протопласта і пошкодженню мембрани, що може відбутися в разі втрати води. У північних рослин каналці плазмодесм клітин, в разі зниження температури, здатні швидко закриватися спеціальними білками, що також упереджує утворення криги (при відкритих каналцях, у випадку виникнення центру кристалізації в одній клітині, крига швидко утворюється у всіх клітинах тканини). Крім того, у цитоплазмі між мікрофіламентами утворюються додаткові точки скріплення, тобто збільшується кількість комірок, заповнених «антифризами», тому центр кристалізації не виникає, і вода переходить у скловидний стан. Всі ці способи пристосування реалізуються у різних організмів у різній мірі.

У рослин, які ростуть у кліматичних зонах з високими температурами, також є низка пристосувань. У них, як правило, дуже розвинені механічні й провідні тканини. Клітини епідермісу виділяють на поверхню листка воскову речовину, яка утворює захисний шар – кутикулу. Цитоплазма клітин відрізняється великою в'язкістю. Фотосинтетична і дихальна системи термостійкі. Зовнішні лусочки бруньок дуже щільні, шкірясті, що захищає чутливі молоді клітини, які активно діляться, від впливу високих температур.

Всі пристосування рослин, які ростуть в умовах високих чи низьких температур. краще було б назвати не захисними, а адаптаційними, тому що дані температури навіть необхідні для існування багатьох у цих «екстремальних» рослин.

72. Охарактеризуйте фотосинтезуючі процеси у різних груп рослинних організмів, завдяки яким відбувається транспорт електронів.

Відповідь. До фотосинтезуючих організмів належать вищі рослини, більшість водоростей та фотосинтезуючі бактерії. Первинним процесом фотосинтезу, завдяки якому відбувається транспорт електронів, у вищих рослин та водоростей є розкладання (фотоліз) води під дією кванта світла.

У фотосинтезуючих бактерій чинником транспорту електронів є фоторозклад інших хімічних сполук, зокрема сірководню, тіосульфату та сірчаних бактерій. У вищих рослин та водоростей процес фотосинтезу відбувається у хлоропластах або хлоропластоподібних структурах – хроматофорах. Основні пігментні системи у вищих рослин та водоростей включають хлорофіли, допоміжні – каротиноїди, а у деяких водоростей – фікобіліни. У бактерій основні пігменти – бактеріохлорофіли, що відрізняються від хлорофілів значно більшим довгохвильовим максимумом у спектрі поглинання.

Пігменти хлорофілу вищих рослин та водоростей – А та Б. У проростках вищих рослин є протохлорофіл. Хлорофіл С міститься у бурих, діатомових водоростях. Хлорофіл Д – у деяких червоних водоростях, хлорофіл Е – у водоростях типу трибонема. Бактеріохлорофіл є у бурих фотосинтезуючих бактеріях та деяких зелених і сіркобактеріях.

Хлоробіум – хлорофіл міститься в зелених фототрофних сіркобактеріях. Транспорт електрона у вищих рослин та водоростей відбувається завдяки дії двох фотосистем, що мають різні реакційні центри та переносники електронів. У бактерій функціонує лише одна фотосистема з одним реакційним центром.

73. Чому вищі рослини не здатні тривалий час перебувати у середовищі, яке бідне на кисень, хоча і не гинуть зразу після попадання у анаеробні умови?

Відповідь. Найчастіше анаеробні умови виникають в разі перезволоження ґрунту. Анаеробні умови виникають також при утворенні льодового покриву на посівах озимих культур, при ущільненні ґрунтів технікою, надмірного зрошення.

Нестача кисню приводить до переходу дихання на анаеробний тип дихання, який починається у коренях багатьох видів рослин при 5-10 – відсотковому вмісті кисню у ґрунті.

При 1-3- відсотковому вмісті кисню відбувається повний перехід на анаеробний режим. У цих умовах рослини деякий час функціонують, отримуючи енергію за рахунок гліколізу і бродіння, але постійно знижують фізіологічну активність. Тривалість функціонування залежить від видових особливостей рослин і зовнішніх факторів. При низьких температурах (2-10°C) рослини краще переносять анаеробіоз, ніж при більш високих температурах.

При температурі 25-30°C різке зниження продуктивності і навіть загибель рослин може бути на 2-3 –ю добу після затоплення ґрунту.

Стійкі види (рис, багаторічні злакові трави) мають ефективну систему анатомічних, морфологічних та фізіолого-біохімічних пристосувань (транспорт кисню до коренів, розвиток поверхневої кореневої системи, збереження листково-кореневих зв'язків та ін.).

Багато сільськогосподарських культур (картопля, томати, капуста, бобові) менш адаптовані до цього стресу і погано переносять анаеробіоз.

74. Як зміниться чиста добова продуктивність фотосинтезу в разі:

а) дефіциту вологи у ґрунті; б) підвищення температури; в) високого вмісту азоту.

Відповідь. Чиста добова продуктивність фотосинтезу – це кількість органічної речовини, яка синтезується одиницею листкової поверхні за добу (г/м²). Чиста добова продуктивність знижується в разі дефіциту вологи (закриваються продихи, порушується газообмін листка, уповільнюється фотосинтез, посилюється непродуктивне дихання), в разі підвищення температури вище оптимального рівня (перегрів листка, посилення непродуктивного дихання) і в разі високого вмісту азоту (зверхоптимальне збільшення площі листків, затінення, зниження інтенсивності фотосинтезу).

75. Відомо, що рослинні угруповання засвоюють сонячну енергію у процесі фотосинтезу. Як ви вважаєте, що потрібно для того, щоб процес синтезу первинної біологічної продукції відбувався постійно?

Відповідь. Для цього потрібно постійне надходження сонячної енергії і наявність сонячних елементів, що здатні засвоювати цю енергію. Такими «сонячними елементами», які подібні до фотоелектричних перетворювачів, що встановлюються на космічних станціях є хлорофільні зерна вищих рослин і хроматофори водоростей. Хлорофіл уловлює сонячне світло з довжиною хвилі 400-700 нм. Ця частина світла називається фотосинтетичноактивною радіацією і складає приблизно 40% від світла, що надходить на Землю до Землі.

На кожен квадратний метр поверхні рослинного угруповання у середній смузі надходить 900 Вт сонячної енергії, ще 500 Вт не доходить до поверхні Землі, тому що відбивається і розсіюється атмосферою.

76. На фотосинтез використовується не більше 1% сонячної енергії, що надійшла до Землі, тобто менше 10 Вт. І лише в рослинних угрупованнях вологих тропічних лісів і високопродуктивних агроценозах кукурудзи і цукрової тростини у спекотному кліматі при поливі і внесенні добрив фіксація сонячної енергії досягає 2%. Яким чином витрачається сонячна енергія, що залишилась?

Відповідь. По-перше, щоб відбувався фотосинтез, необхідно безперервно перекачувати воду із коренів до листків. У цій воді містяться елементи мінерального живлення, які не потрібні для фотосинтезу, але використовуються рослинами для синтезу більш складних органічних речовин, включаючи білки і ДНК. Щоб підняти воду до листків, необхідно у 30-40 разів більше енергії, ніж її витрачається на фотосинтез.

Більша частина цієї води випаровується листям, що у спекотну погоду захищає рослини від перегрівання. Для того, щоб синтезувати 1 г органічної речовини, рослинам потрібно перекачати із коренів у листя 200-300 г води.

По-друге, значна частина тієї сонячної енергії, що надійшла до землі, витрачається на зігрівання приземного шару атмосфери, при цьому короткохвилові промені відбиваються і повертаються у космос, а довгі хвилі – утримуються атмосферою, що створює парниковий ефект.

Якщо б цього ефекту не було б, то температура на поверхні Землі складала б у середньому -18°C , а при такому холоді ніякий фотосинтез неможливий. Таким чином, і та енергія, яка витрачається на підвищення температури навколишнього середовища, посередньо причетна до процесу життєдіяльності рослинних угруповань.

77. Рослинам для росту і розвитку, для протікання реакції фотосинтезу необхідно світло, тому багато з них краще ростуть на відкритих просторах, а не під тінню великих дерев. Але на відкритих ділянках виникає небезпека перегріву. Тому рослинам і доводиться розв'язувати задачу: як бути на сонці і не перегрітися?

Назвіть способи, з допомогою яких рослини можуть уберегтися від перегріву.

Відповідь. Ось деякі способи, які винайшла природа в процесі еволюції:

а) збільшити випаровування листками води – при цьому їх температура знижується;

б) виділяти леткі ефірні масла;

в) заховатися від сонця (рослини пустель низькі, тісно притиснуті до землі або навіть сховані під ґрунтом);

г) повернути листки ребром до сонячних променів (біла акація);

д) скласти частини листка (кислиця при підвищенні температури або потраплянні прямих сонячних променів складає листочки складного листка верхньою зеленою стороною всередину, так само більшість бобових рослин – мишачий горошок, конюшина);

е) збільшити товщину листка (товстому листку важче перегрітися);

є) зменшити розмір листків (колючки практично не нагріваються, а рослина отримує додаткову користь – захист від ворогів і мінімальне випаровування вологи);

ж) захистити листки густим опушенням (з'являється додатковий термоізоляційний повітряний прошарок);

з) захистити листя спеціальним покриттям (листя багатьох рослин пустель щільні, шкірясті, вкриті блискучим восковим шаром (кутикулою).

Багато рослин поєднують різні способи захисту.

Наприклад, перисті листя білої акації декілька разів на добу змінюють своє положення. Вранці листя розкриті так, що сонячне світло падає прямо на всю їхню поверхню. Опівдні, коли світла багато, вони повертаються ребром до сонячних променів. При цьому промені падають на листя з нахилом або взагалі проходять повз них. На вечір, із заходом сонця, листочки акації як би схиляються до сну і звисають вниз.

Тема 3. Клітина як цілісна система.

Обмін речовин і енергії в клітині – енергетичний і пластичний обмін.

78. При окисненні 1 г жиру вивільняється 38, 9 кДж енергії, а при окисненні 1 г вуглеводів – 17, 6 кДж. Поясніть, чому при окисненні органічних сполук вивільняється енергія? Використайте знання про будову молекул цих речовин.

Відповідь. Електрони у складі молекул органічних сполук мають значний запас енергії, вони ніби підняті на вищій енергетичний рівень. Енергія вивільняється у той час, коли електрони переміщуються з вищого рівня на нижчий у своїй чи іншій молекулі або атомі, які здатні бути приймачами електронів. Таким приймачем електронів є кисень. У цьому й полягає його головна біологічна роль.

Вільного ж кисню в клітинах практично немає, оскільки, потрапивши в клітину, він одразу ж вступає в реакцію окиснення. Це й має велике біологічне значення, тому що кисень хімічно дуже активний і діє згубно на живу матерію.

79. Окиснення глюкози може відбуватися як при горінні, так і у живому організмі. Перелічіть риси подібності і відмінності цих процесів.

Відповідь. Подібним у цих процесах є те, що кінцевими продуктами є вуглекислий газ і вода.

Але процес окиснення глюкози у живому організмі суттєво відрізняється від її горіння. Так, процеси біологічного окиснення проходять поетапно, з участю ряду ферментів. При згоранні органічних речовин майже вся енергія виділяється у вигляді теплоти. При окисненні глюкози в живому організмі близько 50% енергії перетворюється в енергію АТФ, а також інших молекул – носіїв енергії. Інші 50% окиснення перетворюються в теплоту. Оскільки ферментативні процеси окиснення проходять поетапно, теплова енергія виділяється поступово і встигає розсіюватись у зовнішньому середовищі, не пошкоджуючи чутливих до нагрівання білків та інших речовин клітини.

80. В чому перевага циклічних процесів метаболізму порівняно з лінійними, гілчастими шляхами перетворення речовин?

Відповідь. Перевага циклічних процесів метаболізму, порівняно з лінійними шляхами перетворення органічних речовин, в тому, що енергія, яка вивільняється внаслідок реакцій, наприклад, циклу Кребса, значною мірою зосереджується в макроергічних фосфорних зв'язках АТФ (кожний цикл окислення оцтової кислоти через окисне фосфорилування веде до утворення 11 молекул АТФ). Цикл Кребса – складний циклічний ферментативний процес, за допомогою якого в живому організмі завершується окислення проміжних продуктів розщеплення вуглеводів, жирних кислот і амінокислот. Щодоби в організмі людини утворюється близько 400 г оцтової кислоти, яка не нагромаджується в тканинах, а, в міру утворення, включається в цикл, де зазнає перетворень. Цикл вміщує 10 послідовних реакцій.

Загалом в аеробного етапу енергетичного обміну утворюється 36 молекул АТФ. Виділяється близько 200 кДж енергії, з якої запасається 1599 кДж (у вигляді макроергічних зв'язків).

Отже, цикл Кребса займає центральне положення в загальній системі обміну речовин і енергії живих організмів.

81. Відомо, що зниження температури до 10°C уповільнює швидкість більшості хімічних реакцій у 2-3 рази (правило Вант-Гоффа), а у людини це приводить до катастрофічних наслідків. Наприклад, небезпечним є навіть короточасне зниження температури тіла замерзаючої людини до 15-20°C. Але ж відповідно правилу Вант-Гоффа при цьому хімічні реакції лише уповільнюються у декілька разів. Якими ж причинами викликаються важкі наслідки зниження температури тіла людини?

Відповідь. Всі хімічні реакції, які відбуваються в живому організмі залежать від температури.

У холоднокровних тварин інтенсивність процесів перетворення енергії збільшується пропорційно зовнішній температурі у відповідності з правилом Вант-Гоффа. Це правило частково стосується і теплокровних, але така залежність маскується у них іншими ефектами. Для підтримання постійної температури тіла, теплопродукція повинна відповідати тепловіддачі. При охолодженні організму тепловіддача збільшується.

Необхідна додаткова теплопродукція забезпечується такими способами:

- довільна активність локомоторного апарату;
- прискорення обмінних процесів, не пов'язаних з скороченням м'язів;
- звуження периферичних кровоносних судин і зниження потовиділення.

Названі механізми ефективні лише в певних рамках зміни температури. В цьому випадку патологічних порушень не спостерігається – організм сам регулює свій стан.

Перейдемо до розгляду гіпотермії. Переглядаючи безпосередньо гіпотермію, будемо звертатися до вищеназваних нормальних механізмів підтримання температури тіла і побачимо, що саме вони в більшості випадків викликають патологію.

Чому ж організми людини неспроможний перенести зниження температури на 20°C ?

Так, спочатку в охолодженому організмі процеси терморегуляції включаються на повну потужність (фаза компенсації): активізується ЦНС, інтенсивно виділяються гормони гіпоталамусом, гіпофізом і наднирниками, відбувається мобілізація депонованих ліпідів і глікогену. Але ресурси цих молекул – регуляторів обмежені, і з подальшим зниженням температури швидкість процесів обміну знижується. Однак забезпечити адекватне уповільнення всіх біохімічних реакцій у рівній мірі неможливо.

Наступає фаза декомпенсації, під час якої відбуваються численні серйозні (незворотні) зміни в організмі. На цій стадії спостерігається виснаження клітин нервової системи і ендокринних залоз. Енергетичні ресурси вичерпуються, пригнічується мікросомальне окиснення субстратів, як наслідок

– знижується теплоутворення. Відмічається підвищене утворення продуктів перекисного окиснення ліпідів, порушення проникності мембранних структур. Знижується тонус артеріальних судин, падає середній капілярний тиск, шунтується кровоток через артеріовенозні анастомози. Ефективність роботи серця знижується через зменшення притоку крові і внутрішньоклітинних змін (при температурі тіла біля 28°C людина може загинути через фібриляції серця).

Підвищене виведення нирками K, Na, Ca порушує водно-сольову рівновагу, склад крові, міжклітинних і внутрішньоклітинних рідин. Поглиблюється гіпоксія, накопичується молочна кислота.

82. Номінальною температурою тіла людини вважається температура від 36,6°C до 37,5°C. Підвищення її вище 43° C і падіння нижче 25° C є смертельним для людини. Так, в організмі людини за одну годину утворюється стільки тепла, скільки потрібно для того, щоб закип'ятити 1 літр крижаної води. Якщо б тіло людини було б покрито непроникним для тепла футляром, то вже через годину температура тіла піднялась би приблизно на 1,5° C, а годин через сорок досягла б точки кипіння води. Під час важкої фізичної роботи утворення тепла збільшується у декілька разів. І не дивлячись на це температура тіла не змінюється. Поясніть, чому температура тіла практично не змінюється.

Відповідь. Постійність температури тіла підтримується шляхом регуляції віддачі організмом тепла. І ця роль належить нашій шкірі, тому що цей орган, який безпосередньо контактує із зовнішнім середовищем і, відповідно, реєструє зміни його температури. Таким чином відбувається врівноваження процесів утворення і віддачі тепла в організмі, тобто терморегуляція.

83. У звивистих каналцях нирок при утворенні вторинної сечі відбувається обернене всмоктування глюкози і йонів натрію у кров. Який механізм має місце при зворотному русі йонів? Який вид транспорту речовин має місце в цьому процесі?

Відповідь. В цьому процесі має місце такий вид транспорту речовин як фільтрація. Фільтрація – це явище, яке відбувається при різниці тиску руху молекул через мембрану в напрямі протилежному осмотичному тиску. У нирках відбувається фільтрація крізь стінки тоненьких капілярів.

84. Відомо, що йонів натрію ззовні клітини більше, ніж всередині, а йонів калію навпаки. Який механізм має місце при зворотному русі йонів? Яка речовина бере участь у цьому процесі і чому?

Відповідь. Встановлено, що в клітинах з обох боків плазматичної мембрани підтримується різниця потенціалів. Всередині клітини переважають йони (K⁺) і хлорид-йони (Cl⁻), а ззовні – йони натрію (Na⁺). Ці йони можуть пасивно дифундувати через плазматичну мембрану, але в нормі, за рахунок енергії, який забезпечується процесом дихання відбувається їх активний транспорт.

У плазмалемі більшості клітин діє натрій-калієвий насос (НКН), який активно викачує йони натрію з клітини і вводить до неї йони калію. Такий насос діє завдяки енергії АТФ. Більше третини АТФ, яка поглинається

тваринною клітиною у стані спокою, витрачається на перенесення йонів Na і K. Це необхідно для збереження клітинного об'єму, підтримки електричної активності в нервових і м'язових клітинах та для активного транспорту деяких інших речовин – цукрів і амінокислот.

Натрій-калієвий насос являє собою білок, який пронизує всю товщу мембрани. З внутрішнього боку мембрани до нього надходить Na і АТФ, а ззовні – калій. Перенесення Na і K через мембрану здійснюється завдяки зміні форми цього білка.

Одночасно цей білок діє і як АТФ-гідролаза, каналізуючи гідроліз АТФ з вивільненням енергії, яка і приводить в рух насос. Цікаво, що на кожні два йони калію, що поглинаються припадає три виведених з клітин йони натрію. Тому вміст її стає більш від'ємним відносно зовнішнього середовища і по бокам мембрани виникає різниця потенціалів.

Сполуки та йони, необхідні для життєдіяльності клітини, а також продукти обміну перетинають мембрану за допомогою дифузії, активного або пасивного транспорту, а також через пори в ній.

Дифузія різних речовин відбувається завдяки різниці концентрації речовин ззовні та всередині клітини і залежить від її проникності для них.

Вибірковість проникнення речовин через мембрани забезпечує процес пасивного транспорту, а саме:

- транспорт речовин з участю рухомих білків-переносників, які на одній поверхні мембрани приєднують транспортну речовину, а на іншій вона звільняється;

- перенесення речовин за рахунок зміни конфігурації внутрішніх білків, що перетинають мембрану, наприклад, коли молекула білка обертається навколо своєї осі.

Пасивний транспорт, як і дифузія, триває до тих пір, поки не зрівняються концентрації речовин ззовні та всередині клітини.

Біологічне значення механізму калієво-натрієвого насосу величезне, адже завдяки йому енергетично сприятливе (тобто за градієнтом концентрації) переміщення йонів Na в клітину полегшує енергетично несприятливий (проти градієнта концентрації) транспорт низькомолекулярних сполук (глюкози, амінокислот).

85. Чому залізний дріт завжди міцніший за бавовняну або льняну нитку такої самої товщини, хоча питома міцність на розрив рослинного целюлозного волокна і міцність сталі практично однакові?

Відповідь. Це пояснюється тим, що нитки не суцільні, а скручені з окремих тонких волоконець довжиною 20-40 мм, сила тертя між якими значно менша міцності. Частина з них не розривається, а розповзається під час розтягування. Саме тому металеві нитки міцніші за рослинні, хоч матеріали, з яких вони зроблені (залізо і целюлоза), мають практично однакові механічні властивості на розрив.

Енергія

86. На що витрачається енергія, яка надійшла у кров внаслідок скорочення шлуночків серця?

Відповідь. Значна частина енергії крові, що рухається витрачається на роботу на подолання супротиву судин малого і великого кола кровообігу. Частина кінетичної енергії переходить у потенціальну енергію пружної деформації еластичних стінок аорти і крупних артерій. При цьому повна енергія крові, що рухається, залишається відносно постійною величиною. При русі крові по судинам відбувається перетворення одного виду механічної енергії в інший і проявляється загальний закон природи – закон збереження енергії.

РОЗДІЛ III. ОРГАНІЗМОВИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Тема 2. Одноклітинні організми.

87. У морському і річковому намулі вчені знайшли бактерії, які мали у своєму тілі кульки магнетиту. Як ви вважаєте, які функції вони виконують?

Відповідь. Користуючись цими своєрідними компасами, бактерії можуть плисти у напрямку магнітних силових ліній. Як відомо, ці лінії виходять з Південного магнітного полюсу Землі і входять у Північний, внаслідок цього у Північній півкулі вони спрямовані на північ і вниз, а у Південній – на північ і уверх (на екваторі – по дотичній до Землі). Цим і користуються бактерії: якщо їм потрібно заритися глибше у намул, то ті що живуть у Північній півкулі плывуть на північ, а ті що у Південній – на південь.

В разі поділу бактерії ланцюжок магнітних кульок також ділиться між дочірними клітинами (кожна отримує приблизно половину ланцюжка), а у ході подальшого життя клітини, вбираючи із навколишнього середовища окисли заліза, добудовують свої ланцюжки. Кожна наступна кулька намагнічується від попередніх. Але інколи буває так, що одна із дочірних клітин не отримує жодної кульки. В цьому разі синтезовані нею нові кульки виявляються намагніченими випадково, в залежності від того, у якому положенні клітина знаходилась при цьому по відношенню до магнітного поля Землі. І таким чином інколи намагніченість виходить неправильною, зворотною.

РОЗДІЛ IV. НАДОРГАНІЗМОВІ РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИВОГО

Тема1. Популяція. Екосистема. Біосфера.

88. Як відомо, природні ресурси поділяють на абіотичні (повітря, вода, земля та її надра) і біотичні (рослини і тварини). Абіотичні ресурси є основою для біотичних, а рослинні – базисом існування тварин. Рослини становлять 99,9% біомаси нашої планети, залишаючи тваринам тільки 0,1% усієї маси живої речовини.

Як ви вважаєте, чому саме тварини як природні ресурси відіграють значну роль у зміні біоти, екосистем, а також у житті людини?

Відповідь. Незважаючи на незначну масу цього природного ресурсу, саме тварини є кінцевим споживачем енергії на Землі, а тому, оцінюючи стан популяцій тварин, можна дуже точно визначити ступінь біоти. Крім того, на відміну від інших природних ресурсів, тварини є безпосереднім продуктом харчування людини, на них припадає 90% харчового білка планети, зосередженого в біотичних природних ресурсах.

Також варто зазначити, що види тварин цінні не лише природним запасом якісного білка, а й тим, що вони є найважливішими компонентами екосистем. Як правило, вони посідають ключове положення в трофічних ланцюгах, а тому різке зниження їх чисельності призводить до редукації функціональних зв'язків, що у свою чергу дає поштовх до зміни структури екосистем. Ценози втрачають стабільність, починаються сукцесії, в результаті найцінніші промислові види зникають, і на перше місце за продуктивністю виходять малоцінні тварини з коротким життєвим циклом.

89. Згідно з офіційними статистичними звітами, на території та в акваторіях України в період максимальної експлуатації тваринних ресурсів, що припадає на середину 80-х та початку 90-х років ХХ ст., добувалося: молюсків – 6000 т; річкових раків – 550 т; риби – 66700 т, пернатої дичини – 2 800 т і мисливських звірів – 3073 т.

Вирахуйте відносну біомасу (у %) тваринних ресурсів, що добувалися у зазначений період. Який висновок ви можете зробити, керуючись даними показниками?

Відповідь. Якщо врахувати, що видобуток відбиває обсяг ресурсу і є єдиною реальною його оцінкою, то відносні ресурси тварин в Україні становлять: риба – 93%, молюски і раки – 2%, перната дичина – 2% і 3% припадає на промислово-мисливських звірів.

Таким чином, вода є середовищем, що підтримує основні ресурси тваринного світу України. З водою безпосередньо пов'язане життя молюсків, раків, риб, а також водоплавної пернатої дичини, що в сумі становить більш ніж 95% біомаси тварин, що добуваються.

90. Вважають, що прісна вода – це кров біосфери, але, на превеликий жаль, це вкрай недостатній ресурс нашої країни. Досить сказати, що в Україні на одного жителя реально припадає майже 1000 м³ води на рік, тоді як, згідно

з обчисленнями ООН, достатньою вважається маса води, що на порядок більша від зазначеної – 10 000 – 15 000 м³. Тим часом промислові й комунальні підприємства країни при експлуатації пропускають води більше, ніж її взагалі є на території України. Що це означає?

Відповідь. Це означає, що одна й та сама вода використовується кілька разів, а оскільки повного очищення досягти неможливо, то в результаті водно-екологічний стан майже 90% ключових річок України оцінюється в межах від «поганий» до «катастрофічний». Звідси висновок: відносно чисту воду споживають жителі північних областей, де розташовуються верхів'я річок, тоді як населення Черкас уже використовує не дуже чисту воду, а Херсона і Запоріжжя – воду, що вже кілька разів пройшла через каналізацію. Невипадково, вважають екологи, середній вік жителів південних міст у середньому на 10 років менше, ніж на півночі.

91. Україна є однією з найбільш розораних країн світу. Не дивлячись на розпал глибокої кризи сільського господарства, наразі, під плугом перебуває понад 55% території. Розорана територія – це, образно кажучи, «земля без шкіри». Як ви розумієте цей вислів?

Відповідь. Цей вислів означає, в першу чергу, що вона стає уразливою для ерозії. По друге, вона не повною мірою реалізує свої біосферні функції, оскільки не дає повної продуктивності рослин і тварин. Якщо порівнювати з іншими країнами, то у Франції і Німеччині під рілля пішло не більш ніж 33%, в Англії – 18, а у США – 15% земель.

Згідно з розрахунками вчених, щорічні втрати ґрунту в Україні становлять 600 млн. тонн, у тому числі гумусу – до 20 млн. тонн. Це означає, що з території країни кожного року у Світовий океан змивається стільки землі, що вмістилася б більш ніж у 100 тисячах залізничних вагонів. Для того, щоб компенсувати втрату гумусу, на поля щорічно треба вносити 400 млн. тонн добрив.

Нині частка луків в Україні становить 12,8% відносно площі ріллі. А це майже в 7 разів менше від оптимальних значень. Відповідно до світових природоохоронних стандартів частка луків має становити не менш ніж 2/3 від сільгоспугідь. Тільки в цьому разі є можливість протистояти ерозії ґрунту.

Якщо в Україні, за різними оцінками, площа лісів коливається від 14 до 16%, то територія, зайнята лісами в Західній Європі, становить 24% (середньоєвропейський показник – 41,3%). При цьому на одного жителя Європи припадає 1,3 га лісу, а на українця – у 6 разів менше, лише 0,2 га.

92. Вчені вважають, що якщо розглядати екологічну небезпеку діяльності людини з позицій біофілософії, то людина з моменту появи на землі вилучила себе з класичного розуміння екології як біології екосистем. Чи насправді це так? Що є головною причиною біологічної небезпеки? Відповідь аргументуйте.

Відповідь. Це дійсно так. Згідно із законом конкурентного витиснення Гаузе конкуренція між видами на одній території тим сильніша, чим ближче види за потребами у споживанні кормових ресурсів та просторі проживання.

Заради свого існування людина усуває або знищує усіх біологічних конкурентів у боротьбі за природні ресурси, називаючи при цьому їх шкідниками, бур'янами тощо.

Цілком правомірно стверджувати, що штучні урбо- та агроландшафти планети (разом з ГМ-рослинами) знижують буферну ємність біосфери, що забезпечує її гомеостаз. Аналіз шаленого за темпами техногенезу останніх 60 років свідчить, що головною причиною біологічної небезпеки є споживацька (незбалансована) промислова діяльність людини та карколомне ведення сільського господарства, які нелінійно підводять біосферу до точки біфуркації (роздвоєння), і наукові сценарії майбутнього невтішні.

Цивілізація повинна вчасно зрозуміти: якщо збережемо біологічне і ландшафтне різноманіття, то воно збереже й нас. Тобто біосфері для відновлення і подальшого сталого функціонування системи «біосфера-суспільство» важливішими є мільйони гектарів природних біомів тайги, джунглів, степів, боліт, океану тощо, а не урбоєкосистеми (мегаполіси, сотні тисяч кілометрів автотрас тощо) чи штучні агроландшафти зернових, бобових та ін.

93. Існує незаперечний екологічний закон: лише 1% чистої продукції фотосинтезу використовується в усіх ланках природних трофічних ланцюгів. Як ви вважаєте, до чого призведе перевищення цієї межі?

Відповідь. Перевищення цієї межі, наприклад шляхом вилучення частини продукції, порушує біотичну регуляцію вмісту CO₂ і O₂ в атмосфері, а через них – стабільність парникового ефекту й швидкість утворення озону. Надходження цієї частки тільки в антропогенний канал (в їжу, волокна, паливо тощо) стає загрозливим чинником для сучасного стану біосфери.

Реалії сьогодення такі: зменшуються площі під сільськогосподарськими культурами, існує генетична межа їх урожайності; збільшується кількість населення планети; інтенсивно застосовуються мінеральні добрива і пестициди, які допомагають у боротьбі з голодом, але забруднюють довкілля; посилюється дефіцит родючості ґрунту (зменшується вміст гумусу); масштабно втрачається біологічне і ландшафтне різноманіття. Біосфера нашої планети «спроможна» надійно прогодувати тільки 1 мільярд людей і при цьому, безболісно для себе, відновитися.

94. Якщо виміряти біомасу всіх живих істот, то виявиться такий парадокс: у наземних угрупованнях (ліс, степ, тундра) біомаса рослин значно перевищує біомасу рослиноїдних тварин, яка, у свою чергу, більше біомаси хижаків (піраміда біомаси). А ось у водному середовищі все навпаки: біомаса рослиноїдних організмів (головним чином це одноклітинні водорості – фітопланктон) нерідко менше біомаси тварин, які харчуються за рахунок цих водоростей. Чому це можливо?

Відповідь. Це можливо завдяки високій швидкості приросту фітопланктону: фітопланктон, який виїдають за добу відтворюється з великою швидкістю. А велика швидкість приросту забезпечується тим, що фотосинтез і обмін речовин у одноклітинних водоростей відбувається дуже інтенсивно.

95. Після чорнобильської аварії величезні території стали забрудненими. Гострою стала проблема очищення ґрунту від радіонуклідів. Запропонуйте способи очищення ґрунту від радіоактивних речовин.

Відповідь. Багато рослин можуть вибірково поглинати і накопичувати в собі деякі речовини, в тому числі і радіоактивні. На забруднених ґрунтах висаджують ці рослини, а потім їх збирають та утилізують, як радіоактивні відходи. Так, ефективно накопичують радіонукліди амарант та всі злакові культури. Французькі вчені з Інституту ядерного захисту і безпеки встановили, що пирій повзучий також активно поглинає радіоізотопи із ґрунту. Ці рослини можна використовувати для очищення верхніх шарів ґрунту, а ряску звичайну для очищення від радіоактивного забруднення.

96. Ґрунт, не дивлячись на те, що в ньому накопичуються трупи природно загиблих тварин з усіма захворюваннями, у тому числі і інфекційними, як правило, не стає резервуаром інфекції. Як ви думаєте, чому?

Відповідь. У ґрунті знаходиться велика кількість ґрунтових бактерій, які виділяють антибіотики, що згубно діють на хвороботворні бактерії.

Ґрунт – це основа біорізноманіття планети. Різноманітність живих організмів багато в чому обумовлено структурною складністю ґрунту як середовища існування.

97. Проблема відлякування птахів поблизу аеродромів не розв'язана до сих пір. Зіткнення птахів з літаком, який набирає висоту чи йде на посадку може закінчитися авіакатастрофою. Тому інженери-авіаконструктори працюють над створенням стійких до ударів птахами авіаційних конструкцій, а служба охорони аеропортів стежить за тим, щоб птахи не з'являлись в районі аеропорту.

Запропонуйте варіанти, як зробити так, щоб птахи не з'являлись там, де літають літаки?

Відповідь. Не давати птахам можливості гніздитися поблизу аеропорту. Так, наприклад, можна створити певні незручності для них, а саме: на території аеропорту і навколо нього підрізати траву так, щоб утворився щільний і густий ворс, на який птахам буде важко сідати. У птахів не повинно бути корма. Тому біля аеропортів заборонено сіяти зернові культури і овочі. Якщо освітлювати полоси не білими, а помаранчевими вогнями, то комах і відповідно птахів прилетить набагато менше. Птахів повинно щось відлякувати. Для цього можна використовувати біоакустичні засоби: звукозапис з пташиними сигналами тривоги або з криками хижаків. Застосовують і піротехнічні засоби, наприклад ракети, які подають виючі звуки.

98. Більшість земних організмів налаштовують біологічний годинник за добовими змінами освітленості (морські прибережні види орієнтуються ще й на ритміку припливів і відпливів). А як регулює біоритми північний олень?

Відповідь. Північний олень мешкає там, де півроку протягом доби темно, а інші півроку сонце не заходить за горизонт. Виявляється, що олень всеодно налаштовує свій біологічний годинник за сонцем, лише його життєві

цикли (наприклад, період розмноження) орієнтуються не на добовий, а річний ритм зміни освітленості. Можна сказати, що біологічний годинник північного оленя працює всього двічі на рік.

99. Те, що навколишнє середовище забруднене – не новина. Те, що від вихлопних газів і викидів страждають не тільки люди, а й дерева, – очевидно кожному. Як з допомогою науки можна оцінити катастрофічний стан лісів, не прибігаючи до масштабних досліджень?

Відповідь. Значна кількість забруднюючих речовин призводить до некрозів – відмиранню тканин рослин. При цьому некрози, викликані різними групами забруднювачів, можна розрізнити без застосування точних методів. Для визначення концентрації отруйних речовин і локалізації їх джерел, вивчають крихітні зразки тканин. Декілька клітин хвої, які піддаються спектральному аналізу, можуть багато розповісти від чого хворіють і вмирають дерева у конкретній місцевості. Але найгірше діють на дерева викиди теплоелектростанцій, які працюють на бурому вугіллі, сірчаний колчедан, а у викидах – діоксин сульфур. З допомогою спектрального аналізу можна оцінити об'єм забруднень, пору року, коли вони найбільш інтенсивні, і визначити межі площі, яку вони покривають. До того спектральний аналіз дозволяє визначити вміст різних хімічних елементів у зразку. Кожен елемент таблиці Менделєєва має свій унікальний спектр випромінювання. З допомогою спектрального аналізу визначають, наприклад, елементний склад зірок, випромінювання яких доходить до Землі.

100. Яскраве вуличне освітлення міст і селищ у вечірній і нічний час наносять шкоду деревам і кущам. Особливо цей шкідливий вплив проявляється на півночі. Чому? У чому проявляється шкода?

Відповідь. Світло, навіть штучне, сприяє продовженню росту пагонів рослин у холодний час. Внаслідок цього молоді пагони не встигають одерев'яніти і страждають від заморозків. На них не встигає повністю сформуватися захисний шар покривної тканини, необхідний для нормального зимування. Без такого шару молоді гілки гинуть взимку від втрати води.

101. Щосені ми спостерігаємо дивне явище природи: настає «золота пора», зелене листя рослин стає золотаво-жовтим або багряно-червоним. А потім починається листопад. Для чого дерева скидають листя? Що відбудеться з деревом взимку, якщо листя залишиться на його гілках?

Відповідь. На листі є пори – продихи, через які випаровується волога. Листя опадає, щоб захистити дерево від втрати води. Якби взимку на деревах залишалось листя, то дерева гинули б від зневоднення. Випаровування відбувається і на морозі (це явище називається сублимацією), а ось подача води призупиняється. Тому що корені не можуть всмоктувати її із мерзлого ґрунту. Крім того, взимку гілки з листям можуть зламатися під вагою снігу.

102. За описом назвіть тварину: тіло брускоподібне без явно вираженої шиї, загострена в хоботок морда, короткі, дуже широкі лапи. Очі дуже маленькі, заховані серед густого бархатистого хутра. Вушних раковин немає. Вкажіть, до яких умов життя пристосована ця тварин?

Відповідь. Ця тварина пристосована до життя у ґрунті. Яскравим представником є кріт. Крота можна з впевненістю назвати живою підземною машиною, що залишає за собою чистий тунель з гладкими стінами. Інженер Олександр Требельов досліджував роботу кротів у такий спосіб: у ящик заповнений ґрунтом він запускав крота і просвічував його рентгенівськими променями. Виявилось, що кріт весь час крутить головою, вдавлюючи ґрунт у стінки тунелю. Група винахідників отримала авторське свідоцтво на «штучного крота». У передній частині машини розміщений конус, який не лише розрізає ґрунт, але подібно голові крота, розгойдується, вдавлюючи часточки ґрунту у стінки тунелю.

103. Як виявилось, для оцінювання водних ресурсів природної екосистеми недостатньо знати кількість опадів. Не менший вплив на її водний баланс здійснює випаровування води. Від чого залежить випаровування води? Яким чином можна розрахувати забезпеченість рослин водою за місяць або вегетаційний період в цілому? Як оцінити результати використання рослиною води?

Відповідь. Вода – це важливий екологічний ресурс в житті рослин. Тому великого значення набуває оцінка забезпеченості рослин водою в умовах конкретної екосистеми. Як відомо, основна кількість води поглинається із ґрунту. Водночас, водний режим ґрунту, а значить, забезпеченість рослин водою, у першу чергу визначається кількістю опадів, які випадають у даному ландшафті.

Але не тільки кількість опадів важлива для оцінки водних ресурсів екосистеми. Досить впливовим на водний баланс екосистеми є випаровування води. Так, наприклад, у ряді районів Узбекистану і на Кольському півострові за рік випадає однакова кількість опадів – 350 мм. Однак на Кольському півострові випаровування складає лише 300 мм, а в Узбекистані – 1200 мм на рік. Тому в Узбекистані води недостатньо і землеробство потребує поливу, а на Кольському півострові вологи завжди надлишок. Як відомо, випаровування залежить в основному від надходження сонячної радіації і обумовленого цим температурного режиму. Тому для характеристики забезпеченості рослин водою широко використовують гідротермічний коефіцієнт (ГТК).

Для розрахунку ГТК використовують суму опадів за вегетаційний період (мм) і суму середніх добових температур за період між датами переходу через 10°. Значення ГТК для основних природних зон наведені в таблиці.

Середні багаторічні значення ГТК для природних зон

Природна зона	Середній багаторічний ГТК
Тайга	>1,6
Широколистяні ліси	1,6 - 1,3
Лісостеп	1,3 - 1,0

Степ	1,0 - 0,4
Напівпустиня	0,4 - 0,2
пустиня	<0,2

Величина ГТК за червень-серпень більш як 1,6 характеризує надлишкову вологу зону, 1,6 - 1,3 – вологу зону, 1,3 – 1,0 – недостатньо вологу зону, 1,0 – 0,4 – засушливу зону, а менш 0,4 – дуже засушливу зону.

Можна розрахувати ГТК не лише за вегетаційний період в цілому, але і за місяць. Це дозволяє дати об'єктивну характеристику забезпеченості рослин вологою протягом кожного періоду їх життя.

Отже, завдяки показнику ГТК, можна судити про ступінь забезпеченості рослин водою у будь-якої екосистемі протягом певного періоду.

Крім цього, можна також визначити і ефективність використання рослиною води – цінного екологічного ресурсу.

У польових дослідях для оцінки ефективності води рослинами визначають коефіцієнт використання води (КВК). Його розраховують як відношення сумарного використання рослинами води за вегетаційний період до створеної біомаси (або врожаю). Наприклад, якщо КВК томата дорівнює 400, це означає, що врожай у 100 кг можна отримати за умови забезпечення рослин 40000 літрами води ($40000:100=400$).

В умовах достатньої забезпеченості вологою коефіцієнт використання води складає: для буряка, моркви, капусти, кукурудзи – 300-400, для зернових культур і картоплі – 350-400, для багаторічних лучних трав – 500-700.

Коефіцієнт використання води у значній мірі залежить від ґрунтових і кліматичних умов. Для однакових сортів, в міру просування із вологого клімату в сухий, коефіцієнт використання води збільшується приблизно вдвічі. У засушливі роки коефіцієнт вище, ніж у вологі.

104. Будь-яке сільськогосподарське виробництво являє собою автотрофну антропогенну екосистему – агроекосистему. Як і у екосистемі степу або лісу основним джерелом енергії для «роботи» агроекосистеми є сонце, а до складу біоти входять продуценти, в першу чергу культурні рослини, і консументи – сільськогосподарські тварини. Сонячна енергія по харчовим ланцюгам передається від продуцентів до консументів. Запасником детриту є ґрунт, в якому мешкає армада ґрунтових дварин-детритофагів і бактерій-редуцентів, які забезпечують рециклінг елементів мінерального живлення. При цьому природні і агроекосистеми мають суттєві відмінності. Які саме? Як людина керує функціонуванням агроекосистем?

Відповідь.

Порівняння природних екосистем і агроекосистем

Ознака	Тип екосистеми Природна	Агроекосистема
Розмір	Безрангове поняття	Визначається межами сільськогосподарського виробництва

Джерело енергії	Сонце	Сонце (99%)+антропогенна енергія (1%)
Переважаючі харчові ланцюги	Детритні	Пасовищні
Довжина харчових ланцюгів	4-6 ланцюгів	2-3 ланцюга
Ступінь замкнутості колообігу речовин	Висока	Низька
Тип регуляції	Самоорганізація	Керуються людиною при збереженні елементів самоорганізації

Людина управляє функціонуванням агроєкосистеми, керуючись «егоїстичними» інтересами, і тому прагне спрямувати харчові ланцюги (відсікає відтік енергії по харчовим ланцюгам, які формуються комахами-фітофагами, бур'янами, патогенами) і отримати максимальну корисну біологічну продукцію. Вона визначає склад біоти (в першу чергу культурних рослин і тварин), просторову структуру (розміщення у просторі полів, пасовищ, тваринних ферм ті ін.), відповідність потоків енергії, які перебігають по харчовим ланцюгам «рослина-людина» і «рослина-тварина-людина», рівень біологічної продукції.

Не дивлячись на те, що агроєкосистеми позбавлені ознак самоорганізації, спираючись на закони загальної екології, можна створити в них «модулі самоорганізації» і цим самим частково перевести агроєкосистеми на «самообслуговування». Такими модулями є:

а) ґрунт-рослина. Внаслідок виносу елементів мінерального живлення з врожаєм у ґрунті формуються їх дефіцитні баланси. Однак, якщо використовувати сівозміни, до складу їх входять культури, які покращують ґрунт, сидерати і багаторічні трави (особливо бобові), то різниця приходу і розходу елементів мінерального живлення знизиться;

б) ґрунт – рослина - тварина. При внесенні навозу на поля в агроєкосистемі забезпечується рециклінг елементів мінерального живлення і сформується елементи замкнутості, що також буде сприяти підтриманню плодючості ґрунту.

в) рослина – тварина. Ефективність передачі речовини і енергії по цьому харчовому ланцюгу підвищиться, якщо використовувати види тварин, здатних повністю використовувати залишки рослинництва або ефективно засвоювати енергію. Так, наприклад, в Індії заміна корів на буйволів дозволила використовувати в якості корму грубі корма – рисову соломку, сухі стебла кукурудзи і стрижні її початків. Внаслідок цього вдалось різко підвищити виробництво молока;

г) фітофаги – ентомофаги. При підвищенні видового багатства агроєкосистеми (створення системи корисних симбіотичних зв'язків) щільність

популяцій фітофагів контролюється комахами-ентомофагами і птахами в «автоматичному режимі», що дозволяє обходитися без токсичних інсектицидів.

Зрозуміло, що досягти в агроєкосистемі рівня самоорганізації, який існує у природних екосистемах, неможливо, тим не менш екологізація функціонування агроєкосистеми дозволяє економити енергію і зберігати агроресурси, в першу чергу ґрунту.

105. Промислові виробництва за своєю природою «мертві» техносистеми, це царство пристроїв із металу, скла і пластика, через які протікають значні потоки речовини і енергії. Озеленення промислових територій і цехів відіграє естетичну роль і не вносить ніякого внеску у потоки речовин і енергії.

Чому ж останнім часом раптово пробудився інтерес до положень загальної біології?

Відповідь. Промислові екологи розглядають виробництво як аналог організму і екосистеми, використовують поняття «життєвий цикл виробу», «харчові ланцюги» і «харчові сітки», «промисловий симбіоз». Мета цих аналогій – за рахунок «уроку в природі», (в якій відбувається постійне «ресурсозбереження», «енергозбереження» і не накопичуються «відходи») оптимізувати виробничий процес, зменшивши питомі затрати енергії, ресурсів, і знизити утворення відходів.

Зазначимо, що внесок теорії загальної екології в практику систем раціонального природокористування досить великий і дозволяє розв'язати багато складних проблем природокористування. Це спонукає нас пригадати слова Альберта Ейнштейна про те, що немає нічого практичнішого, ніж гарна теорія.

106. Щодня в прогнозі погоди після звичних даних про метеорологічні умови повідомляють і рівень радіаційного фону. Як правило, він становить 12-13 мкР/год (мікрорентгенів за годину). Визначте, яку дозу опромінення одержує людина впродовж 70 років життя.

Відповідь. Якщо природний фон 12 мкР/год, то опромінювання організму становитиме за життя:

$$12 \text{ мкР/год} \cdot 24 \text{ год} \cdot 365 \text{ діб} \cdot 70 \text{ років} = 7,3 \text{ бер.}$$

Крім того, до природного радіаційного фону додається опромінювання від будматеріалів, медичного обстеження, ядерної енергетики, тож за життя середньостатистична людина одержує дозу 25-30 бер. Для жителів України додається ще 5 бер – наслідок аварії на ЧАЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеева Т.И., Белоконь Л.С., Година Е.З. Урбоэкология / Т. И. Алексеева, Л. С. Белоконь.– М.: Наука, 1990. – 208 с.
2. Беляева Ж.В. Урок на тему «Фотосинтез» / Ж.В.Беляева //Биология в школе. – 2012. – №6. – С.42-43.
3. Гин А.А. 150 творческих задач для сельской школы: учеб.- методич. пособие / А.А.Гин, И.Ю.Андржеевская – М.: Народное образование, 2007. – 234 с.
4. Всесвятский Б.В. Системный подход к биологическому образованию в средней школе: кн. для учителя/ Б.В.Всесвятский. – М.: Просвещение, 1985.
5. Елагина В.С., Уткина Т.В. Биофизические задачи на уроках биологии. // Биология в школе. – 2009. - №3. – С.26-29.
6. Жиллов Ю.Д. Биология света / Ю.Д.Жиллов, Е.Н.Назарова //Биология в школе. – 2009. – №4. – С. 9-15.
7. Иваницкий Г.Р. Мир глазами биофизика / Г.Р.Иваницкий. – М.: Педагогика, 1985. – 250 с.
8. Ильченко В.Р. Формирование у учащихся средней школы естественнонаучного миропонимания в процессе обучения: дисс. доктора пед. наук / В.Р.Ильченко. – Полтава, 1989.
9. Миркин Б.М. Экология: об аналогиях биологии и технология / Б.М.Миркин, Л.Г. Наумова // Биология в школе. – 2006. - №3.
10. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Основы популяционной экологии / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова // Биология в школе. – 2007. – №3.
- 11.Петрова Е.Б. Интеграция в науке и образовании: история и современность/ Е.Б.Петрова //Физика в школе. – 2007. – №3. – С.13.
- 12.Теремов А.В. Интегративный потенциал биологического образования / А.В. Теремов//Биология в школе. – 2009. - №4. – С. 23-25.

Видання підготовлено до друку та віддруковано
редакційно-видавничим відділом ЧОПОПП
Зам. № 1344 Тираж 100 пр.
18003, Черкаси, вул. Бидгощська, 38/1