



# Курс «Екологія ґрунтів»

ІЕК НАНУ, викладач Ірина Шпаківська



## *Лекція 8.*

# **Ґрунтові водорості - продуценти екосистеми ґрунту**

**Ґрунтові водорості (або фітоєдафон)** є обов'язковим компонентом ґрунтової мікрофлори і присутні практично в будь-якому ґрунті.

Більшість із них — мікроскопічні фотоавтотрофні організми, що виконують функції первинних продуцентів у ґрунтових екосистемах.

Ґрунтові водорості — це **група фотосинтезуючих еукаріотів**, які пристосувалися до життя у ґрунті, а не у водному середовищі. Вони виконують важливі функції в агроценозах, наприклад, азотофіксуючі види можуть зв'язувати атмосферний азот і виробляти фітогормони, що позитивно впливає на ріст рослин. Їхня діяльність сприяє формуванню в ризосферній зоні доступних для рослин поживних речовин.



# Як саме виглядають ?

## Основні ознаки:

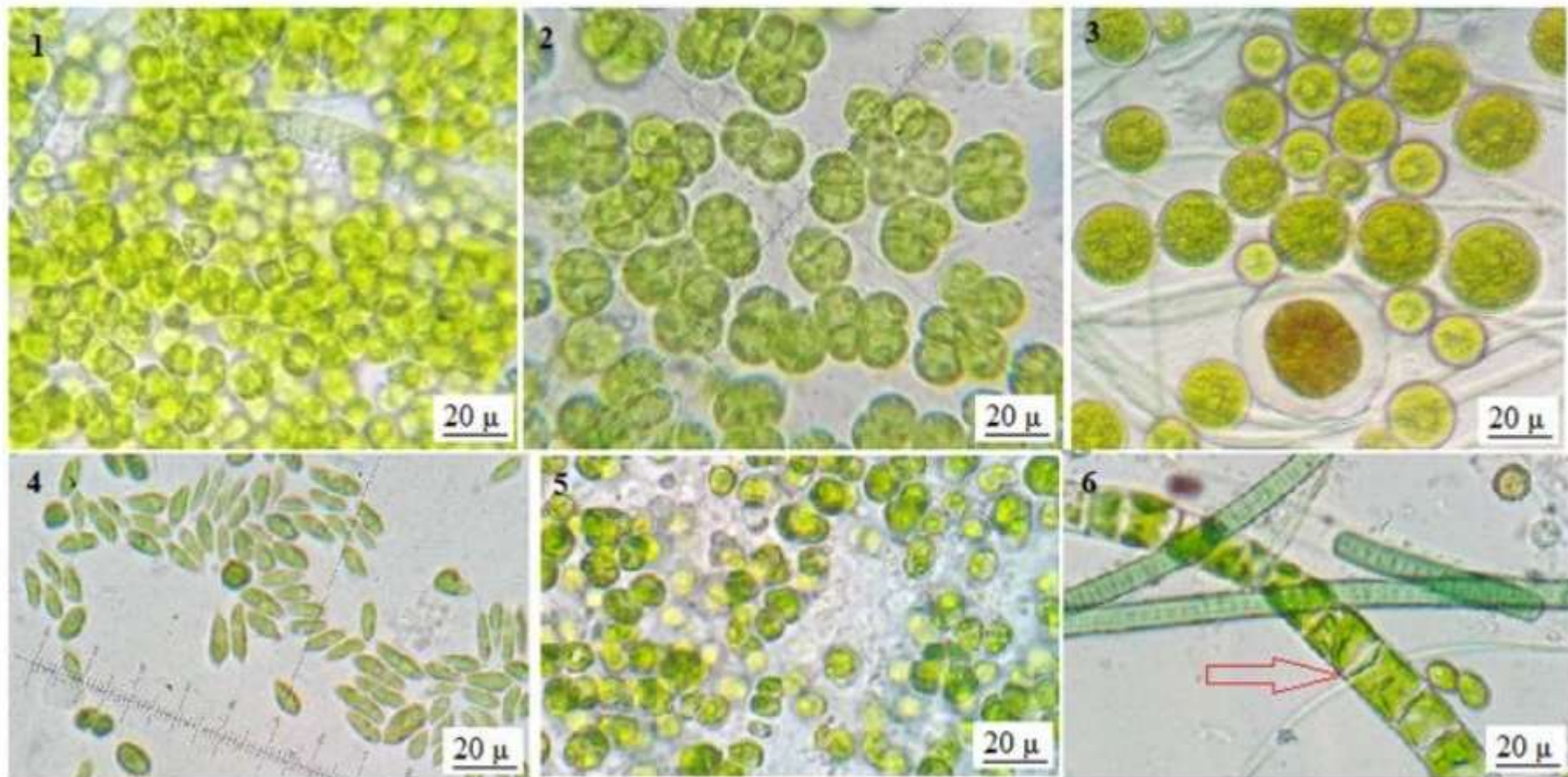
- **Колір:** Найчастіше зелений (через наявність хлорофілу) або бурий.
- **Текстура:** Зазвичай слизька, але може бути і більш щільною, утворюючи плівку або шар.
- **Місцезнаходження:** З'являються на вологих поверхнях, таких як кора дерев, каміння, стіни або верхній шар ґрунту.
- **Структура:** Можуть бути одноклітинними, як хламідомонада, або багатоклітинними, утворюючи складніші структури.

Як зазначає М.С. Двораковский, ґрунтові водорості разом із грибами, бактеріями та дрібними безхребетними входять у мікробіоту і становлять **біотичний фактор ґрунту**.



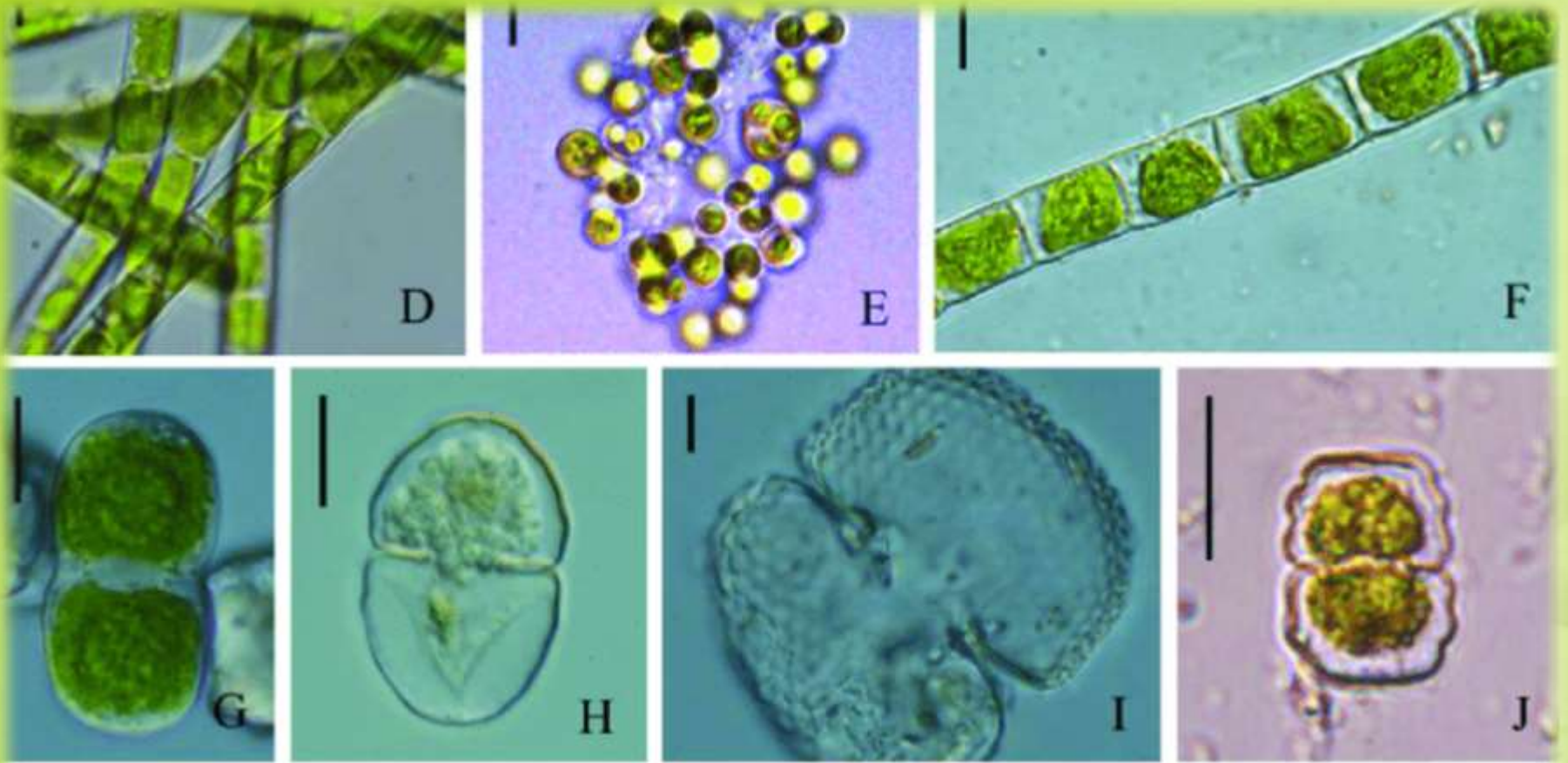
# Водорості на поверхні ґрунту





Green algae species identified in soil surface samples (0-5 cm) at the TS region: 1) *Chlorella* sp.; 2) *Protococcus* sp.; 3) *Chlorococcum* sp.; 4) *Euglena* sp.; 5) *Planktosphaeria* sp.; 6) *Microspora* sp.





Soil green algae found at various farmlands in mid Taiwan. A: *Characium guttula*; B: *Scenedesmus quadricauda*; C: *Chlamydomonas reinhardtii*; D: *Klebsormidium flaccidum*; E: *Chlorella vulgaris*; F: *Ulothrix variabilis*; G: *Actinotaenium cucurbita*; H: *Cosmarium laeve*; I: *Co. quadratum*; J: *Co. regnellii*. Bar = 10  $\mu$ m.



# Чому ростуть на ґрунті якщо вони водорості?

- **Пошкодження:** Поява водоростей може бути ознакою перезволоження ґрунту, що може призвести до загнивання коренів рослин.
- **Знищення врожаю:** Водорості конкурують з культурними рослинами за поживні речовини та воду, що негативно впливає на врожайність.
- **Зараження:** Водорості можуть бути переносниками вірусів та інших шкідників.

Ґрунтові водорості мають низку морфологічних та фізіологічних адаптацій, що дозволяють їм виживати в умовах обмеженого освітлення, змін вологості та щільної структури ґрунту.



# Основні характеристики та роль в екосистемах ґрунту

- **Фотосинтез:** Як фотоавтотрофи, ґрунтові водорості використовують сонячне світло для виробництва органічної речовини, збагачуючи ґрунт енергією.
- **Збагачення киснем:** Вони беруть участь у кисневому режимі ґрунтів, виділяючи кисень у процесі фотосинтезу.
- **Накопичення азоту:** Деякі види, зокрема синьо-зелені водорості (ціанобактерії), здатні фіксувати атмосферний азот, сприяючи його накопиченню в ґрунті та підвищуючи його родючість.
- **Участь у кругообігу речовин:** Водорості відіграють помітну роль у кругообігу таких елементів, як Кальцій та Силіцій.
- **Формування структури ґрунту:** Вони беруть участь у формуванні ґрунтових агрегатів, що покращує структуру ґрунту та його водно-фізичні властивості, зокрема водоутримуючу здатність та водопроникність.
- **Біологічні індикатори:** Видовий склад і чисельність ґрунтових водоростей можуть слугувати індикаторами стану та родючості ґрунтів, а також рівня забруднення урбоекосистем.
- **Взаємодія з іншими організмами:** Вони формують консорції (співтовариства) з іншими мікроорганізмами, такими як бактерії, гриби та актиноміцети, у функціональній структурі біогеоценозів.



# Адаптації до абіотичних чинників грунтового середовища

- Світло:** Ґрунт — це середовище з обмеженим доступом світла, тому водорості адаптуються до низької освітленості, використовуючи фотосинтез навіть при невеликій кількості сонячної енергії.
- Вода:** Ґрунт часто нерівномірно зволожений, тому деякі водорості мають здатність утворювати захисні оболонки, що допомагають зберігати воду.
- Поживні речовини:** Ґрунт є джерелом мінеральних речовин, які водорості використовують для росту.
- Механічні властивості:** Деякі види можуть утворювати слизові оболонки, що дозволяє їм закріплюватися на ґрунті, запобігаючи висиханню та змиванню.
- Температура:** Водорості можуть переживати екстремальні температури завдяки утворенню стійких оболонок, які захищають їх від перегрівання та переохолодження.



# Ключові адаптації

- Стійкість до висихання:** Ґрунтове середовище характеризується значними коливаннями вологості.

Водорості пристосувалися до періодів посухи, утворюючи **спори або цисти** — стійкі форми, які можуть перебувати в стані спокою, поки умови не стануть сприятливими для активного росту.

- Фотосинтез в умовах низької освітленості:** Оскільки світло проникає лише в найтонший верхній шар ґрунту, водорості, що мешкають глибше, мають високоефективні пігментні системи для уловлювання доступного світла або ж переходять до **гетеротрофного живлення**, використовуючи органічні речовини ґрунту.

- Рухливість:** Багато видів ґрунтових водоростей, наприклад, деякі діатомові або зелені водорості) мають здатність активно пересуватися у водному прошарку між часточками ґрунту, що дозволяє їм мігрувати ближче до поверхні для фотосинтезу або, навпаки, занурюватися глибше у пошуках вологи під час посухи.



# Як водорості отримують ресурси?

- **Фотосинтез:** Водорості використовують світло для перетворення вуглекислого газу та води на органічні речовини.
- **Гетеротрофний тип живлення:** Деякі водорості можуть отримувати поживні речовини з органічних залишків, що є у ґрунті.
- **Азотфіксація:** Деякі види водоростей мають здатність фіксувати атмосферний азот і перетворювати його на біологічно доступну форму, що є важливим для росту.



# Види ґрунтових водоростей

Серед ґрунтових водоростей представлені різні відділи, найпоширенішими з яких є:

- **Зелені водорості** (Chlorophyta) — часто домінують за видовим складом.
- **Синьо-зелені водорості** (Cyanophyta) — важливі для фіксації азоту.
- **Діатомові водорості** (Bacillariophyta).
- **Жовто-зелені водорості** (Xanthophyta).
- **Евстигматофітові водорості** (Eustigmatophyta).

Залежно від умов існування, чисельність водоростей в 1 грамі ґрунту може складати від кількох тисяч до мільйонів клітин



# Роль ґрунтових водоростей у екосистемі ґрунту

Мікрководорості, що розвиваються на поверхні ґрунту, поглинають мінеральні солі, запобігаючи їх вимиванню і згодом роблячи їх доступними для рослин, тому **альголізація ґрунту** забезпечує рослини всім необхідним для їх росту.

Вони скріплюють хімічні елементи ґрунту шляхом **хелатизації**. При цьому утворюються комплексні сполуки металів із деякими органічними речовинами. Іони металів під час хелатизації переходять із нерозчинного стану в розчинний, а отже, стають доступними для рослин.





*Halimeda soriposa* живе на вапняках та бере участь у ґрунтоутворенні



# Життєві форми водоростей

Е.А. Штіна та М.М. Голлербах розробили подібну **класифікацію ґрунтових водоростей** за їхніми життєвими формами. Вона застосовна лише для едафофільних водоростей, а азотфіксуючі водорості виділені в особливу життєву форму. У зв'язку з цим розрізняють форми:

- 1) **Ch-форма** – одноклітинні та колоніальні зелені та частково жовто-зелені водорості, що мешкають у товщі ґрунту, але при сприятливій вологості дають розростання і на поверхні ґрунту;
- 2) **C-форма** - включає одноклітинні, колоніальні або нитчасті форми, які можуть утворювати рясний слиз;
- 3) **X-форма** – більшість одноклітинних жовто-зелених і багато зелених, які віддають перевагу тіньовим умовам серед ґрунтових частинок, тіньовитривалі, але не стійкі проти посухи та екстремальних температур;
- 4) **B-форма** – рухливі клітини діатомових водоростей, що живуть у поверхневих шарах вологого ґрунту або в слизу інших водоростей;



# продовження

5) **P-форма** - ниткоподібні синьо-зелені (*Phormidium*, *Oscillatoria*, *Plectonema*), що не утворюють значного слизу;

6) **M-форма** – синьо-зелені у вигляді більш-менш слизових ниток, що утворюють макроскопічно помітні скоринки або дерновинки на поверхні ґрунту;

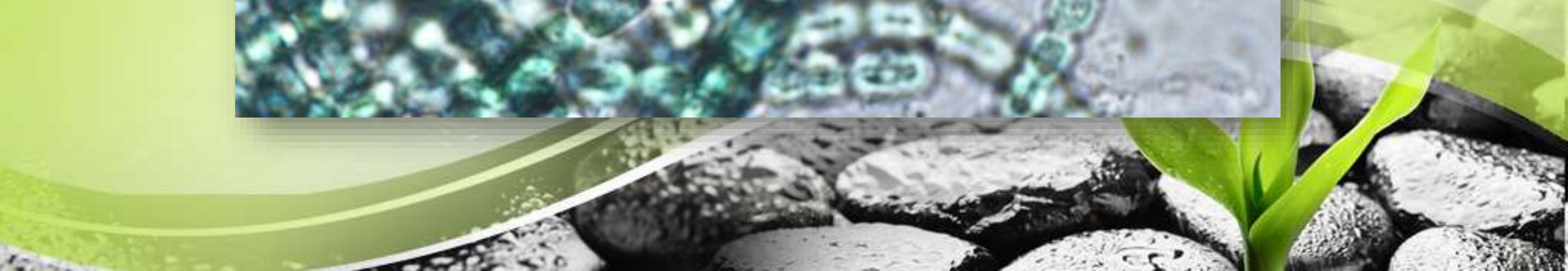
7) **H-форма** – живуть розсіяними серед ґрунтових частинок, при достатній вологості та затіненні, утворюють поверхневі нальоти, не стійкі проти посухи та сильного світла;

8) **N-форма** - наземні мікроскопічні таломи *N. commune*, *N. microscopicum*, *N. flagelliforme*, *N. sphaeroides* ; світловитривалі і посухостійкі види, пойкилоксерофіти;

9) **V-форма** – ниткоподібні водорості, що утворюють повстяні нальоти на поверхні вологих ґрунтів .



# *Cylindrospermum majus* (x1000)



# Трофічні групи (тип живлення)

Грунтові водорості ділять на **автотрофні** та **гетеротрофні**.

**Автотрофи** - організми, що синтезують з неорганічних речовин (головним чином води, діоксиду вуглецю, низькомолекулярних сполук азоту) все необхідне для життя органічні речовини.

**Гетеротрофи** не синтезують всі необхідні органічні речовини і тому потребують вступу органічних речовин ззовні для нормальної життєдіяльності.

Більшість водоростей є **фотолітоавтотрофів**, і з них здатні переходити від одного типу обміну до іншого, тобто мають лабільний метаболізм.



# Поділ на підгрупи

М.М. Голлербах та Е.А. Штина виділили такі групи ґрунтових водоростей залежно від джерел енергії та вуглецю:

- ✓ **облігатні фототрофи**, що живуть за рахунок фотосинтезу,
- ✓ **облігатні автотрофи**, здатні до різних способів засвоєння вуглецю
- ✓ **факультативні гетеротрофи**,
- ✓ **факультативні хемоорганотрофи**



# Гетеротрофна асиміляція нітрогену

**Гетеротрофна асиміляція азоту** – засвоєння азоту органічних сполук – доведено водоростей як факультативна форма азотного харчування.

Навіть облігатно автотрофні по відношенню до вуглецю організми можуть використовувати органічні речовини як джерело азоту та фосфору.

Багато синьо-зелених **можуть отримувати азот в органічній формі**, виробляючи відповідні ферменти. Джерелами азоту можуть бути такі речовини як сечовина, аміді, амінокислоти, білки та ін . Як відзначають багато вчених-альгологів в освоєнні інших елементів живлення водорості принципово не відрізняються від вищих рослин, хоча у різних видів виявляються специфічні особливості.



# Асиміляція фосфору та мікроелементів

Фосфор поглинається водоростями у вигляді фосфатів, АТФ, гліцерофосфатів та інших органічних та неорганічних фосфоровмісних сполук.

Сірка доступна у вигляді оксидів ( $SO_4$ ,  $SO_3$ ,  $S_2O_3$ ) і сірковмісних амінокислот.

Необхідні макроелементи – калій, магній, кальцій, залізо, натрій (для синьо-зелених) – надходять у вигляді катіонів із ґрунтового розчину.

Мікроелементами для водоростей є марганець, молібден, ванадій, кобальт, цинк, мідь, бор.



Мікробіодорості успішно використовуються для ПІДВИЩЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ, для поповнення запасів органічної речовини, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. З цією метою застосовують зелені (*Chlorella. vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus spinosa*) та синьо-зелені мікробіодорості (родини *Nostocaceae*).

Особливо це стосується вирощування рису, адже в чеках живе велика кількість зелених водоростей, серед яких багато азотфіксаторів. Ефективною також є **альгалізація ґрунту** – внесення живих культур мікробіодоростей у ґрунт, особливо в умовах зрошуваного землеробства. Її проводять до сівби або під час сівби разом із насінням (наприклад, з бавовником), або водорості вносять після висіву, що особливо ефективно на рисових полях.



# Вплив на родючість ґрунту



накопичення органічної речовини (включаючи фіксацію молекулярного азоту)



зміна фізико-хімічних властивостей ґрунтів



стимуляція мікробіологічної активності ґрунтів



позитивний вплив мікробіодоростей на ріст вищих рослин (завдяки виділенню водоростями фізіологічно активних речовин)



індикатори стану ґрунтів



приймають участь у біологічному регулюванні порушених ґрунтів

# Зв'язування нітрогену та індикатори стану ґрунтів

Представники роду *Chlorella vulgaris* здатні за сезон пов'язати до 60 кг/га азоту, а також є цінним джерелом органічної речовини, що покращує родючість ґрунту. При цьому мікроводорості є відновлюваним ресурсом, на відміну від азотних добрив промислового виробництва.

Найприятливіші умови для розвитку зелених мікроводоростей створюються в затоплюваних ґрунтах рисових полів.

Азотонакопичення в ґрунтах рисових полів становить 15–90 кг/га на рік.

Також водорості є індикаторами стану ґрунтів, їх використовують як тест-об'єкти при визначенні потреби ґрунту у добривах, вони також є індикаторами під час випробування різних пестицидів.

Завдяки своїй чутливості до будь-яких змін довкілля, мікроводорості є невід'ємними учасниками ґрунтового моніторингу.

Біомаса водоростей сприймається як органічне добриво, причому вигідно відрізняється від традиційних видів, оскільки не містить ні патогенної мікрофлори, ні залишків бур'янів, ні шкідників.





*Післядія після внесення суспензії хлорели в ґрунт на посівах сої в 2021 році. Ґрунтова витяжка під мікроскопом показує наявність в ґрунті ґрунтових водоростей, 2022 рік (Івано-Франківська обл.)*



# Покращення фізико-хімічного стану ґрунтів

Водорості здатні покращувати фізико-хімічний режим ґрунтів.

Розвиваючись на поверхні ґрунтів у масових кількостях, мікроводорості можуть поглинати велику кількість мінеральних солей, що оберігає їх від вимивання з ґрунту, оскільки після відмирання клітин ці речовини стають доступними для коренів вищих рослин. Таким же чином, здійснюється і біологічне закріплення добрив, що змиваються з полів. Помічено, що на знижених ділянках та на місцях стоку поблизу полів нерідко розвиваються дернини мікроводоростей, що «перехоплюють» стік і фіксують певну частину мінеральних солей.

Вплив на аерацію ґрунтів за рахунок кисню, що виділяється під час фотосинтезу. Особливо важливо це для заболочених, важких, погано аерованих ґрунтів. Кисень водоростей сприяє покращенню дихання коренів вищих рослин та життєдіяльності аеробних мікроорганізмів.

Поверхневі плівки мікроводоростей можуть мати велике протиерозійне значення. Слизові речовини клітинних оболонок склеюють ґрунтові частинки. У ряді випадків скріплююче значення мають одноклітинні зелені мікроводорості, що виділяють рясний слиз. Розвиток мікроводоростей впливає на структурованість мілкозему, надаючи йому водостійкості та перешкоджаючи виносу з поверхневого шару.



**Таким чином - ҐРУНТОВІ ВОДРОСТІ** — це унікальні організми, які адаптуються до складних умов Ґрунтового середовища, використовуючи фотосинтез, гетеротрофний тип живлення.

