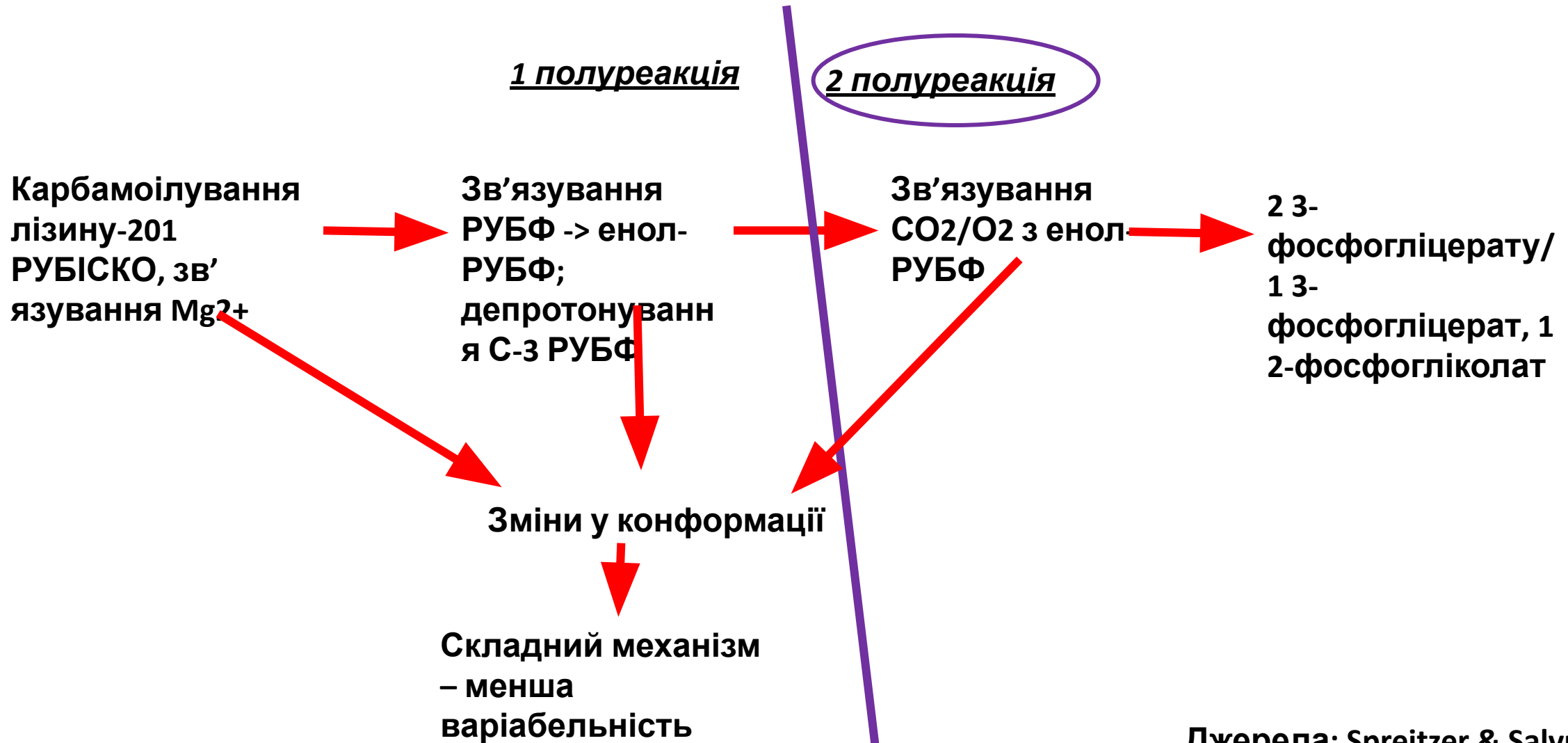
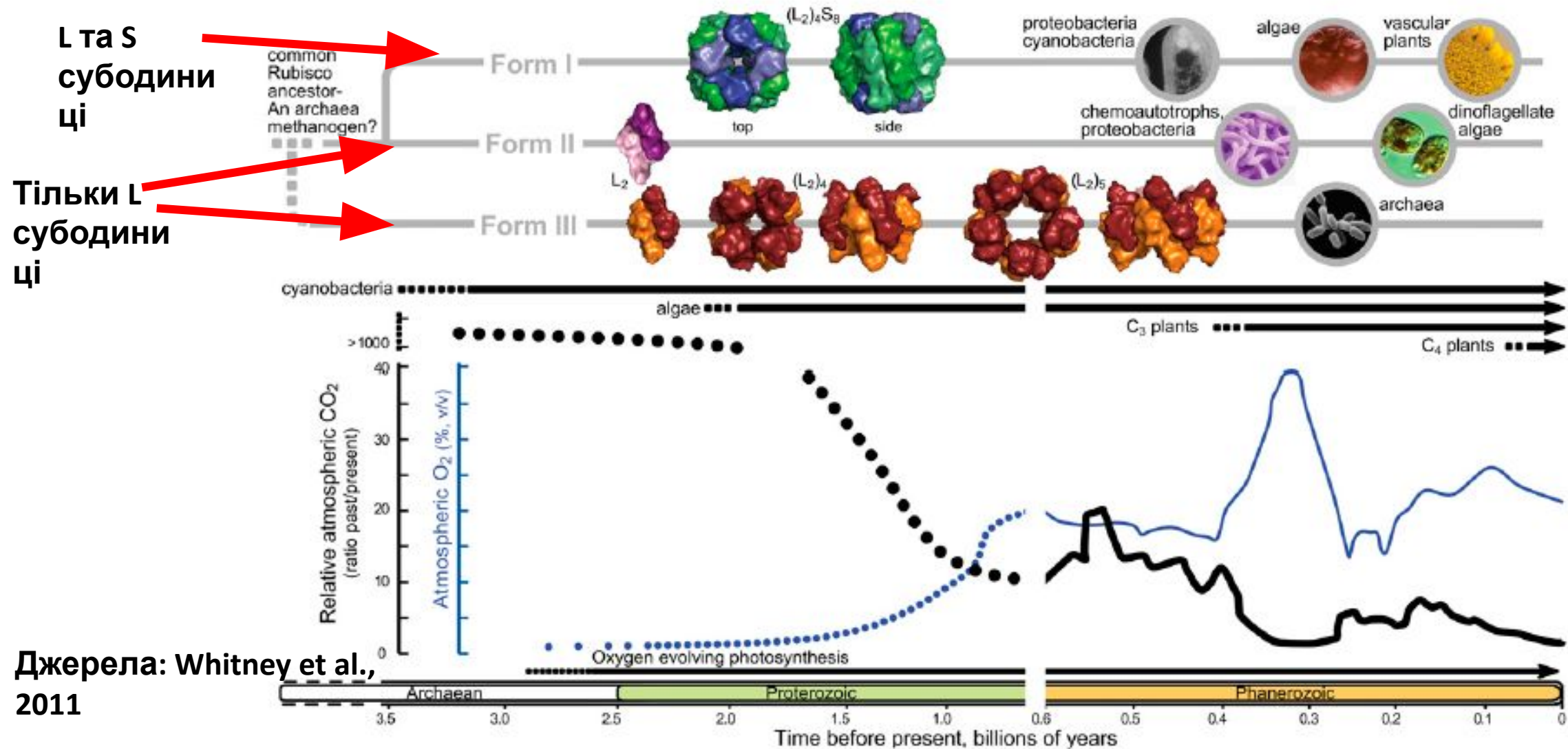


# Специфічність РУБІСКО

# Механізм роботи РУБІСКО



# Еволюція РУБІСКО і зміна концентрацій O<sub>2</sub> та CO<sub>2</sub> в атмосфері



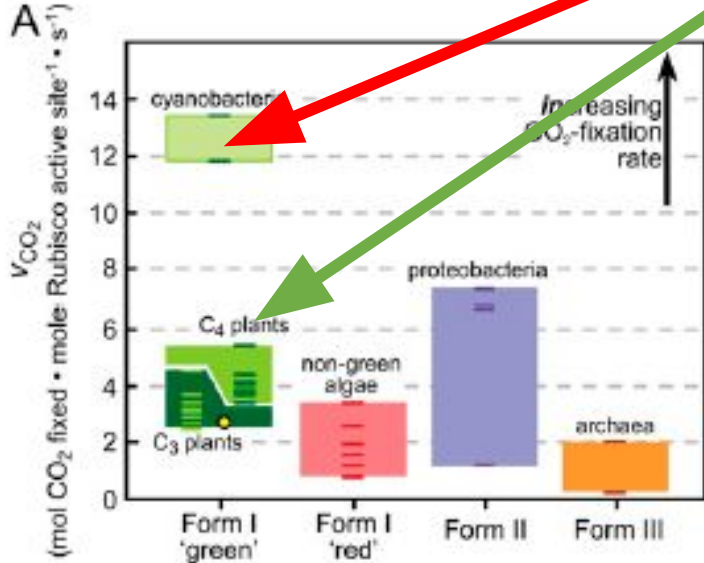
L та S субдиниці

Тільки L субдиниці

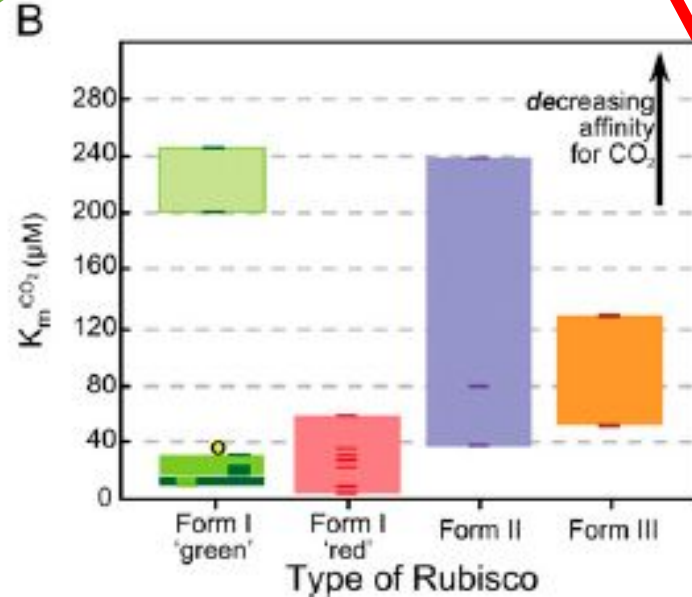
Джерела: Whitney et al., 2011

# Каталітична активність різних форм РУБІСКО

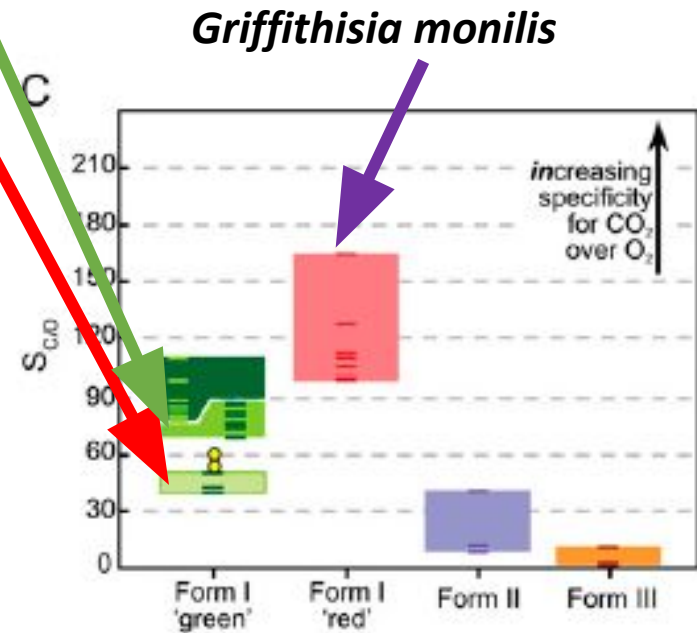
СО<sub>2</sub>-концентруючі механізми:  
низька специфічність,  
високий вихід



Темпи фіксації СО<sub>2</sub>



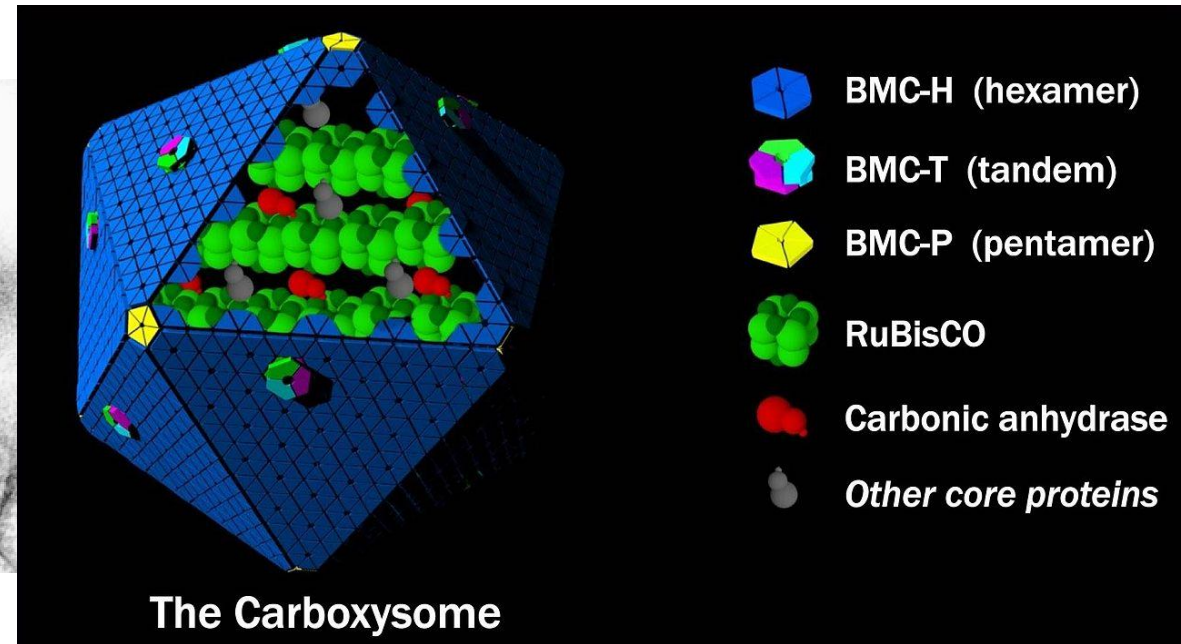
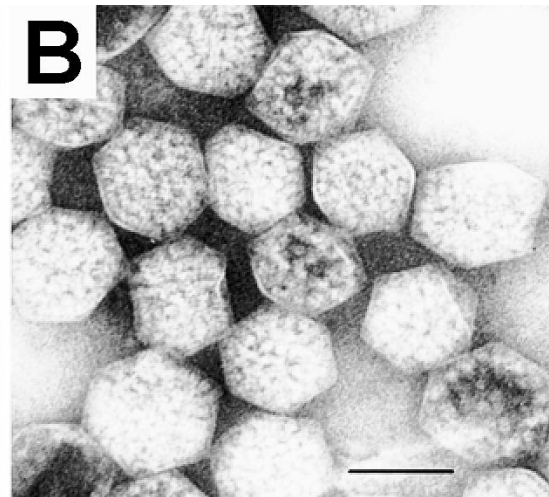
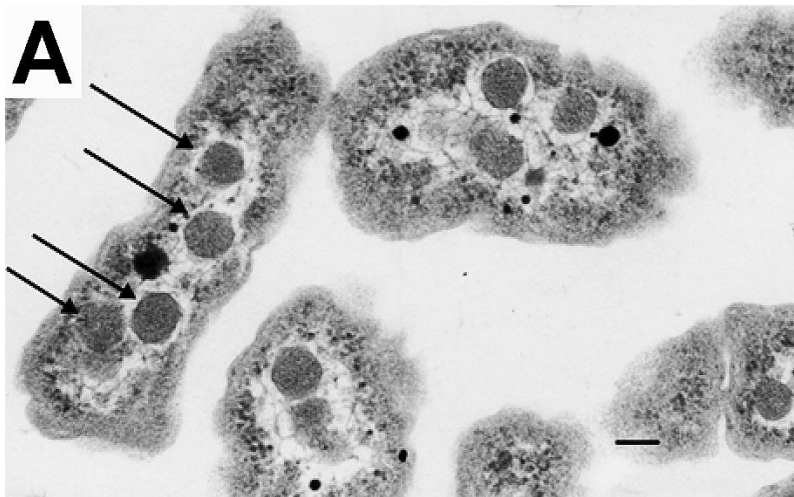
Зменшення афінності до СО<sub>2</sub>  
( $K_m \sim 1/v$ )



Специфічність до СО<sub>2</sub> понад О<sub>2</sub>

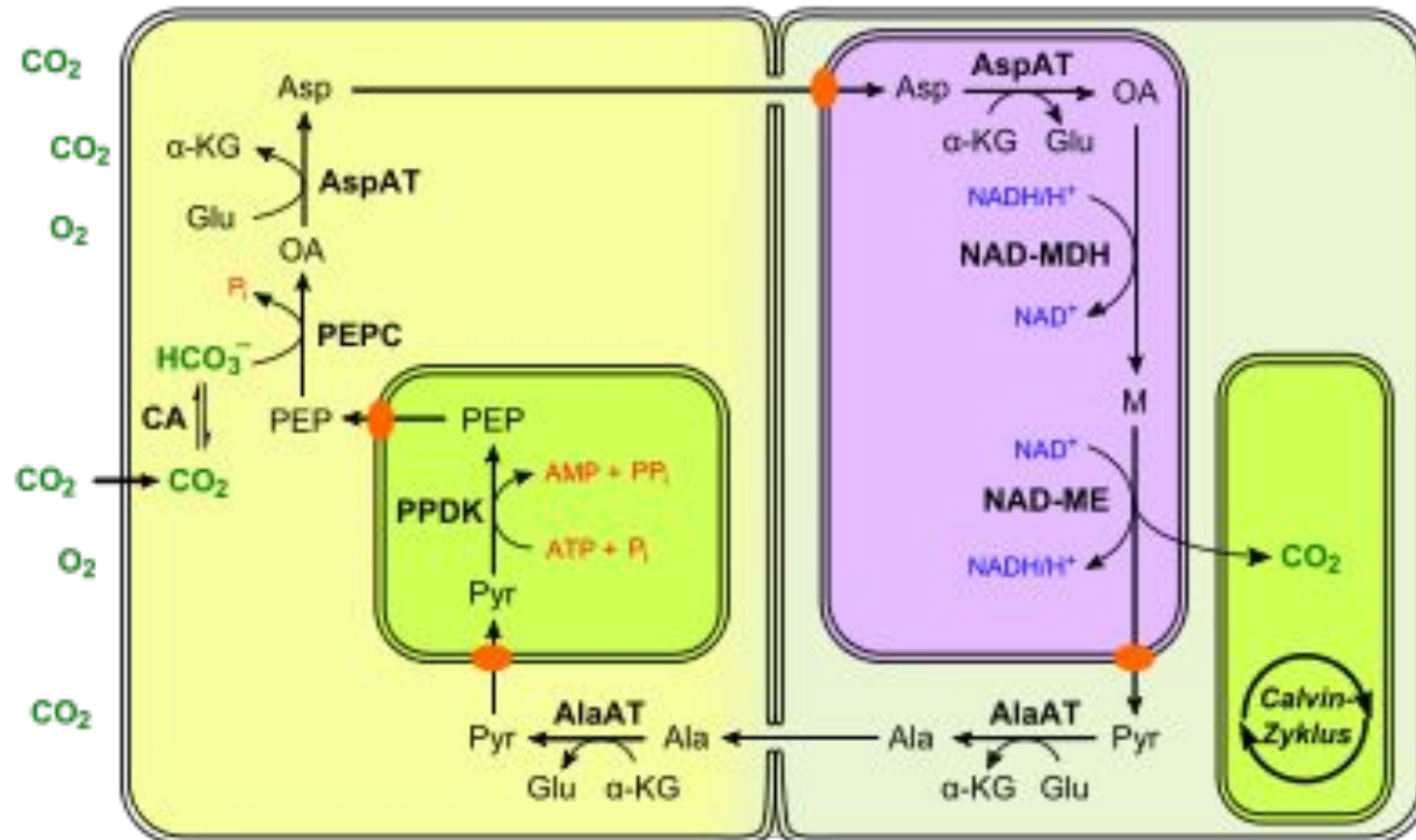
# CO<sub>2</sub>-концентруючі механізми Карбоксисоми ціанобактерій

- Бікарбонати з цитозолю -> карбоангідраза -> CO<sub>2</sub>



# C4 та САМ фотосинтез – вищі рослини

- Два цикла фіксації CO<sub>2</sub> у різних типах клітин/у різний час.



# Кінетика РУБІСКО

$$\bullet \Omega = \frac{V_c \times K_o}{V_o \times K_c} = \frac{v_c \times [CO_2]}{v_o \times [O_2]}$$

$$\bullet P_n = v_c - t \times v_o = \frac{\left( V_c \times K_o \times \left( [CO_2] - \frac{[O_2]}{\Omega} \right) \right)}{(K_o \times [CO_2] + K_c \times K_o + K_c \times [O_2])}$$

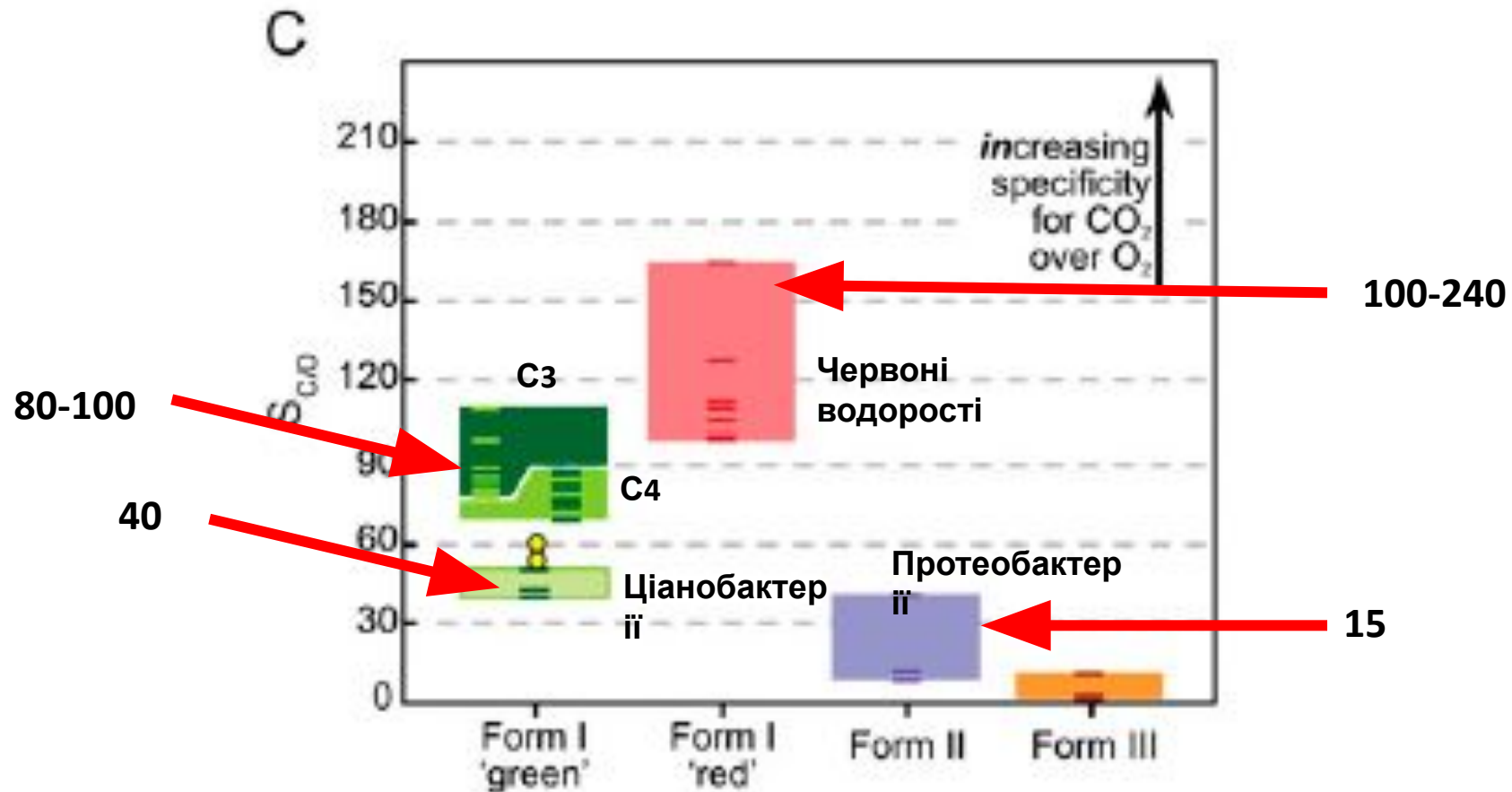
$\Omega$  – фактор специфічності РУБІСКО до  $CO_2$  понад  $O_2$ .

$P_n$  (net photosynthesis) – кількість фіксованого  $CO_2$ , враховуючи витрати на фотодихання.

$K$  – константи Міхаеліса для 2х субстратів,  $V$  – максимальні швидкості реакції фіксації 2х субстратів.

$t$  – кількість молей загубленого  $CO_2$  на 1 моль фіксованого  $O_2$ ,  $t=1/2$ .

# Ω для різних РУБІСКО





# Два варіанта збільшення Pn

- Збільшення Pn за рахунок збільшення  $\Omega$  – Rhodophyta.
- CO<sub>2</sub>-концентруючі механізми (збільшення Pn за рахунок збільшення [CO<sub>2</sub>] і зменшення [O<sub>2</sub>]) – Cyanobacteria, Embryophyta.

$$\bullet \Omega = \frac{V_c \times K_o}{V_o \times K_c} = \frac{v_c \times [CO_2]}{v_o \times [O_2]}$$

$$\bullet Pn = v_c - t \times v_o = \frac{(v_c \times K_o \times ([CO_2] - \frac{[O_2]}{\Omega}))}{(K_o \times [CO_2] + K_c \times K_o + K_c \times [O_2])}$$

$\Omega$  – фактор специфічності РУБІСКО до CO<sub>2</sub> понад O<sub>2</sub>.

Pn (net photosynthesis) – кількість фіксованого CO<sub>2</sub>, враховуючи витрати на фотодихання.

K – константи Міхаеліса для 2х субстратів, V – максимальні швидкості реакції фіксації 2х субстратів.

t – кількість молей загубленого CO<sub>2</sub> на 1 моль фіксованого O<sub>2</sub>, t=1/2.

# Чому зміна $\Omega$ виявилася менш ефективною ніж CO<sub>2</sub>-концентруючі механізми?

$$\bullet \Omega = \frac{V_c \times K_o}{V_o \times K_c} = \frac{v_c \times [CO_2]}{v_o \times [O_2]}$$

$$\bullet P_n = v_c - t \times v_o = \frac{\left( V_c \times K_o \times \left( [CO_2] - \frac{[O_2]}{\Omega} \right) \right)}{(K_o \times [CO_2] + K_c \times K_o + K_c \times [O_2])}$$

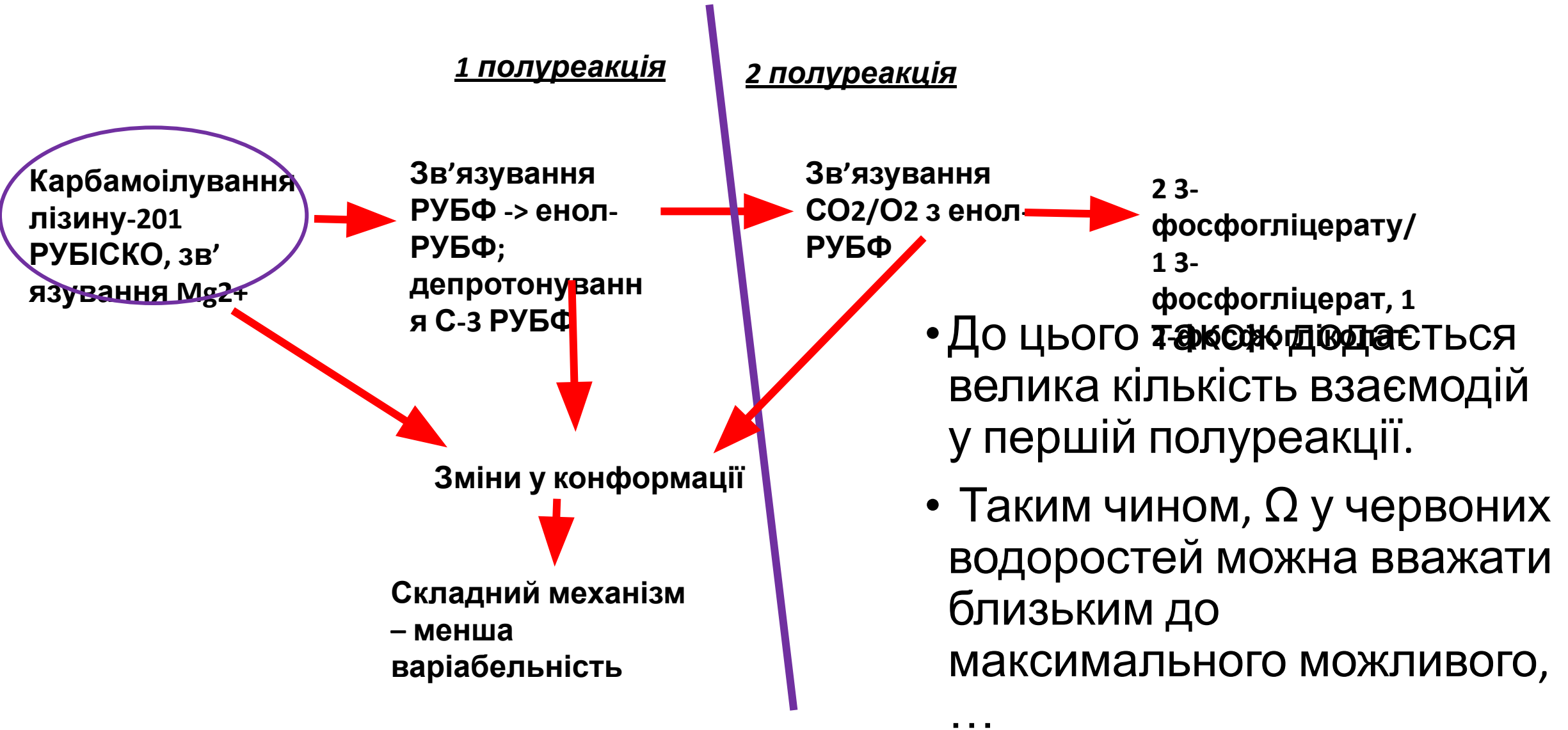
$\Omega$  – фактор специфічності РУБІСКО до CO<sub>2</sub> понад O<sub>2</sub>.

$P_n$  (net photosynthesis) – кількість фіксованого CO<sub>2</sub>, враховуючи витрати на фотодихання.

$K$  – константи Міхаеліса для 2х субстратів,  $V$  – максимальні швидкості реакції фіксації 2х субстратів.

$t$  – кількість молей загубленого CO<sub>2</sub> на 1 моль фіксованого O<sub>2</sub>,  $t=1/2$ .

# Механізм роботи РУБІСКО

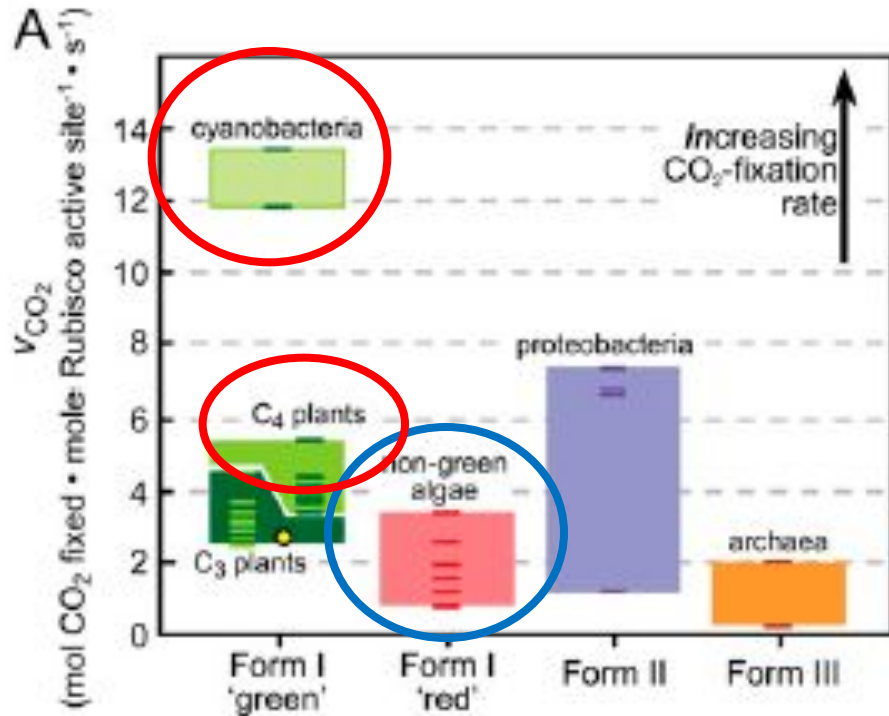


$$\bullet \Omega = \frac{V_c \times K_o}{V_o \times K_c} = \frac{v_c \times [CO_2]}{v_o \times [O_2]}$$

$$\bullet P_n = v_c - t \times v_o = \frac{\left( v_c \times K_o \times \left( [CO_2] - \frac{[O_2]}{\Omega} \right) \right)}{(K_o \times [CO_2] + K_c \times K_o + K_c \times [O_2])}$$

$\Omega$  – фактор специфічності РУБІСКО до CO<sub>2</sub> понад O<sub>2</sub>.

P<sub>n</sub> (net photosynthesis) – кількість фіксованого CO<sub>2</sub>, враховуючи витрати



для 2х субстратів, V – максимальні швидкості реакцій.

$$\bullet P_n = v_c - t \times v_o = \frac{\left( v_c \times K_o \times \left( [CO_2] - \frac{[O_2]}{\Omega} \right) \right)}{(K_o \times [CO_2] + K_c \times K_o + K_c \times [O_2])}$$

$\Omega$  – фактор специфічності РУБІСКО до CO<sub>2</sub> понад O<sub>2</sub>, t=1/2

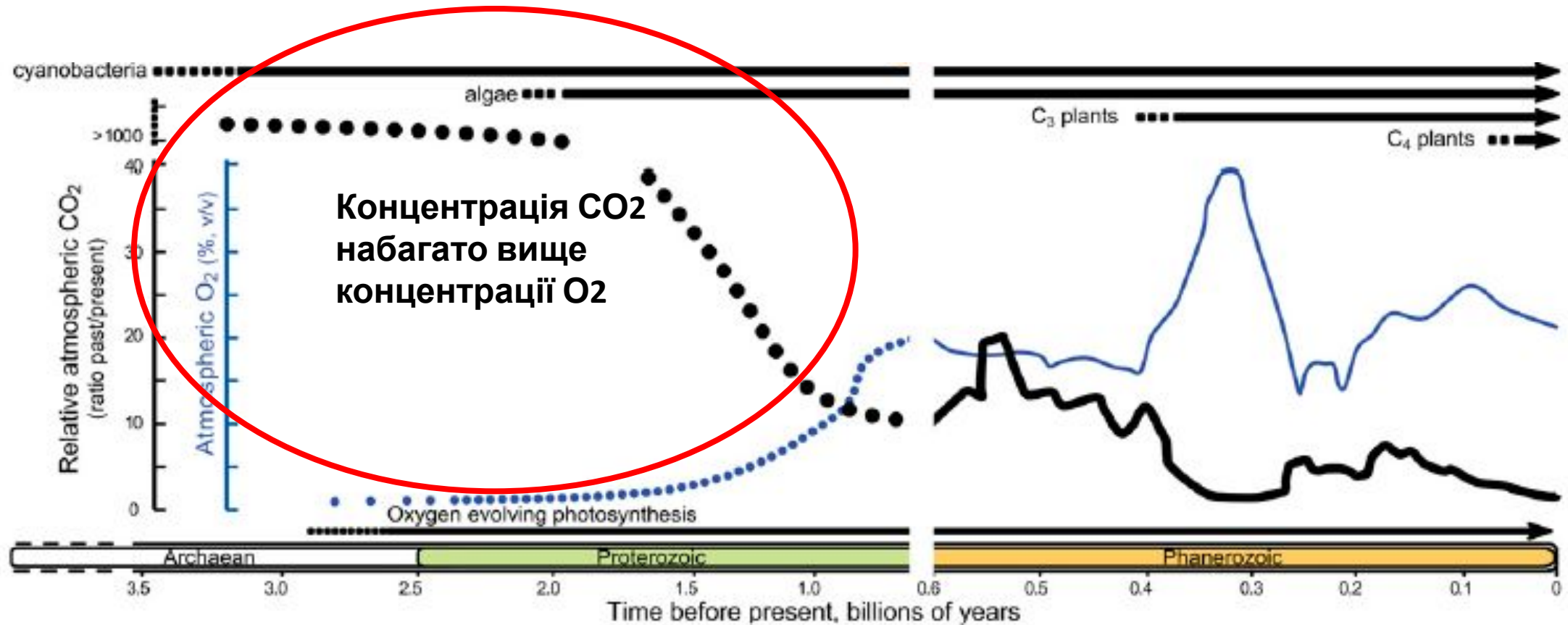
< – константи Міхаеліса для 2х субстратів, V – максимальні швидкості реакції фіксації 2х субстратів.

t – кількість молей загубленого CO<sub>2</sub> на 1 моль фіксованого O<sub>2</sub>, t=1/2.

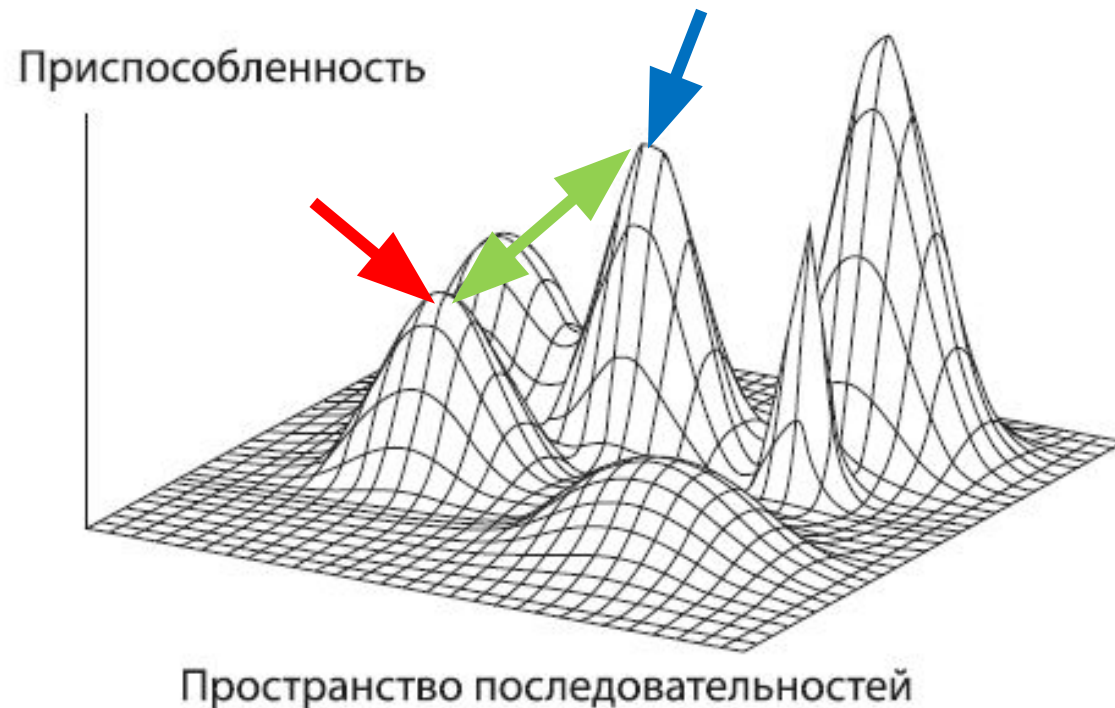
Червоні водорості

Ціанобактерії

# Отже, низька специфічність РУБІСКО - релікт

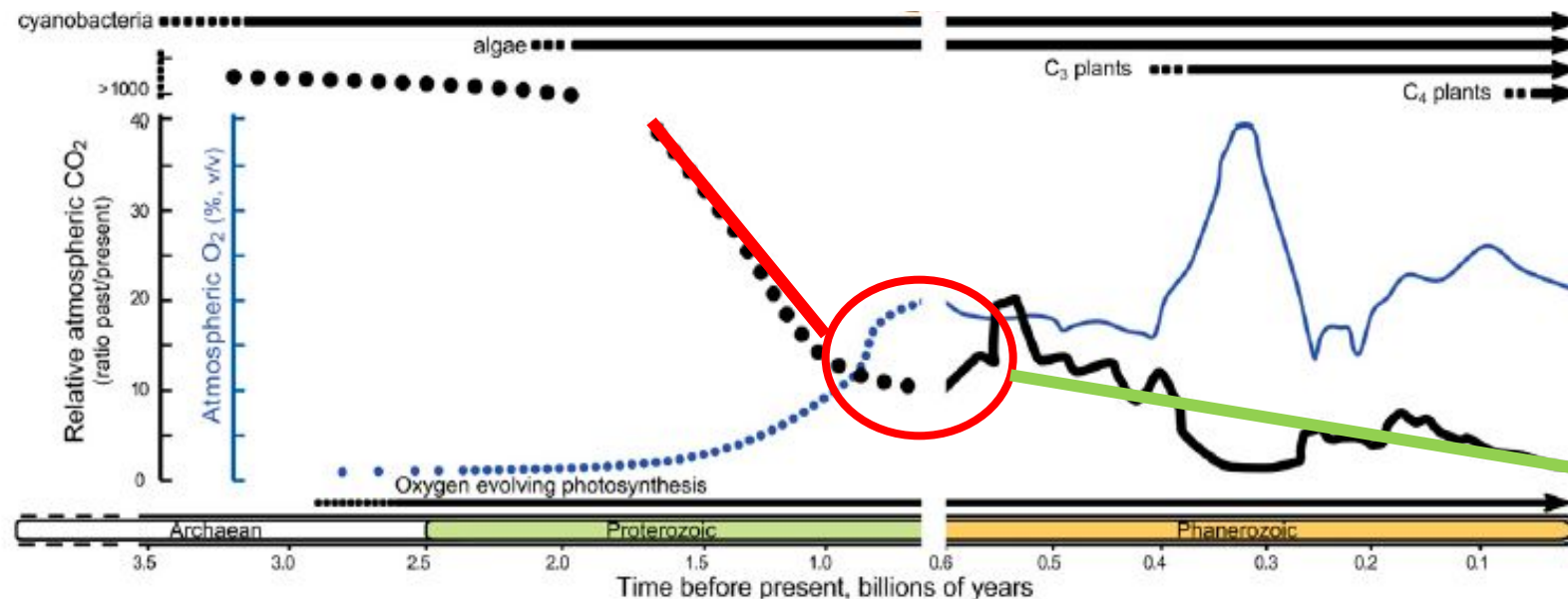


- Саме у ті часи РУБІСКО опинилась на такому піку ландшафту пристосованості, що перейти з нього на інший, що відповідає більш специфічному ферменту, зараз майже НЕМОЖЛИВО.



# Контроль складу атмосфери?

- Відбутися перехід на відповідний пік ландшафту міг у період «Землі-сніжка» (бл. 700 млн), що міг бути частково визваний значною фотосинтетичною активністю, йому відповідає різке зменшення конц. CO<sub>2</sub>, що призвело до зменшення парникового ефекту і зниження температури.
- У цей період міг йти добір на меншу специфічність РУБІСКО, адже після нього конц. CO<sub>2</sub> відносно постійно зменшується, однак менше ніж до нього.
- Мабуть, специфічність РУБІСКО регулює підтримання нормального співвідношення [CO<sub>2</sub>]/[O<sub>2</sub>] в атмосфері?



До цього етапу конц. CO<sub>2</sub> в атмосфері зменшувалася дуже різко

Джерела: Young et al., 2012

# Висновки

1. Збільшувати специфічність ферменту менш вигідно ніж виробляти CO<sub>2</sub>-концентруючий механізм.
2. Максимальна відома зараз специфічність РУБІСКО є близькою до максимально можливої, так як такі характеристики ферменту є реліктовими, адже довгий час він еволюціонував у умовах високої концентрації CO<sub>2</sub>.
3. Можливо, активність РУБІСКО відіграє певну роль у регуляції складу атмосфери, таким чином вона «оптимізована» для підтримки нормального співвідношення концентрацій CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>.



Дякую за увагу!