

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН І ГЕНЕТИКИ

На правах рукопису

ЖУКОВА Ярослава Фрідріківна

РЕГУЛЯТОРНА РОЛЬ ФОСФОПРОТЕЇНІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД
УМОВ ФОРМУВАННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ

03.00.12. - фізіологія рослин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ - 1993



Аб 26.997
Робота виконана у відділі біохімії фотосинтезу
Інституту фізіології рослин і генетики АН України

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
КОЧУБЕЙ С. М.

Офіційні опоненти: чл.-кор. АН України, доктор хімічних
наук ЯСНИКОВ О. О.
доктор біологічних наук, професор
СУДЬІНА О. Г.

Провідна організація: Київський державний університет
ім. Т. Г. Шевченка

Захист відбудеться "22" квітня 1993 року о 10 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.57.01 в
Інституті фізіології рослин і генетики АН України за адресою:
252022, Київ-22, вул. Васильківська 31/17.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
Інституту фізіології рослин і генетики АН України

Автореферат розіслано " " _____ 1993 року

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат біологічних наук

В. А. Труханов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. В останні десятиліття досягнутий значний прогрес у вивченні організації фотосинтетичного апарату і механізмів первинних процесів фотосинтезу. У теперішній час все більше уваги приділяється вивченню механізму регулювання цих процесів на різних рівнях організації. Так, нещодавно відкрито явище перебудови мембранної системи хлоропластів, яке зв'язане з фосфорилуванням і дефосфорилуванням мембранних білків, обумовлює фізико-хімічний механізм регуляції перерозподілу світлових квантів між фотосистемами I і 2 (ФС I і ФС 2) вищих рослин. Внаслідок дії цього механізму відбувається перерозподіл відносної кількості синтезованих у світловій стадії молекул АТФ і НАДФ, які є первинними продуктами фотосинтезу.

З'являються повідомлення про механізми регуляції фотосинтетичного апарату на генетичному рівні. Так, у щойно дослідженій родині сав-генів, що кодує біосинтез протеїнів світлозбиральних комплексів ФС I і ФС 2, котрі постачають світлову енергію до цих фотосистем, виявлено чутливість експресії до рівня освітленості. Однак, незважаючи на великий інтерес до проблеми регуляції, стану та функціонування фотосинтетичного апарату і дедалі зростаючу кількість робіт у цій галузі, дуже багато питань залишаються нез'ясованими. Зокрема, недостатньо вивчені процеси фосфорилування мембранних білків і наслідків цього явища, які проявляються у структурних змінах та функціях мембранної системи хлоропластів у рослинах, що вирощувались у несприятливих умовах зовнішнього середовища. Практично немає повідомлень про особливості фосфорилування білків у хлоропластах рослин, які мають відміни у генетичному апараті.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи було вивчення варіацій регуляторної функції мембранних фосфопротеїнів при модифікаціях фотосинтетичного апарату, які викликані несприятливими умовами вирощування або генетичними особливостями. У зв'язку з цим були поставлені наступні завдання:

I. Вивчити міграцію фосфопротеїнів, їх склад і взаємодію з ФС I у хлоропластах рослин гороху, які зростали за зниженим рівнем освітленості і високою температурою.

2. Виявити вплив рівня освітленості на нагромадження пігмент-білків у хлоропластах мезофілу кукурудзи різних інбредних ліній.

3. Встановити взаємозв'язок між структурними перебудовами фотосинтетичного апарату, які викликані фосфорилуванням мембранних білків хлоропластів, і варіаціями спрямованості електронного транспорту у рослин кукурудзи двох інбредних ліній.

Наукова новизна. Встановлено, що при формуванні фотосинтетичного апарату за умов зниженого рівня освітленості, фосфорилування мембранних білків хлоропластів рослин гороху призводить до міграції не менш двох популяцій мобільного СЗК 2, а за умов підвищеної температури крім них мігрує комплекс ФС 2. Всі ці популяції асоціюють з антенним пулом ФС I і приймають участь в перенесенні енергії на її реакційні центри. Показано, що за умов різної освітленості рівень нагромадження СЗК 2 різний в хлоропластах мезофілу кукурудзи інбредних ліній F 7 і П-346. Встановлено, що перебудови мембранної системи хлоропластів внаслідок фосфорилування у рослин інбредних ліній кукурудзи різняться між собою та від рослин гороху за оптимальних умов вирощування. У лінії П-346 фосфорильований пул СЗК 2 асоціює з антенним каналом ФС I з флуоресценцією 735 нм, що призводить до підсилення нециклічного електронного транспорту. Асоціація фосфорильованого пулу СЗК 2 у лінії F 7 відбувається з двома антенними каналами ФС I - з флуоресценцією 735 та 720 нм - що супроводжується підсиленням як циклічного, так і нециклічного електронного транспорту.

Практичне значення. Одержані результати поглиблюють уявлення про регуляторну роль мембранних фосфопротеїнів у рослинах різних видів. Регуляторна функція фосфопротеїнів зумовлена специфікою метаболізму і потребою рослинної клітини в первинних продуктах фотосинтезу за тих чи інших умов вирощування. Наведені дані сприяють подальшому розвитку теорії регуляції фотосинтетичних процесів.

Апробація роботи. Матеріали дисертації були докладені на конференції молодих вчених "Вклад молодих учених в інтенсифікацію сільського господарства" (Чабани, 1991); Міжнародній конференції "Фотосинтез и фотобиотехнология" (Лудино, 1991); конференції молодих вчених "Актуальные проблемы физиологии растений и генетики" (Київ, 1992); ІУ Українському біохімічному з'їзді (Київ, 1992).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 6 робіт, 1 прийнята до друку.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, викладена на 154 сторінках машинописного тексту, до якого входять 39 малюнків, 10 таблиць. Список літератури становить 130 джерел.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В першій серії експериментів об'єктами дослідження були І2-І4-денні рослини гороху сорту Чернігівський І90, що вирощувався у ґрунтовій культурі у кліматичній камері ВКШ-І за наступними умовами: 1 - освітленість $9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ при температурі $+15^\circ\text{C}$; 2 - освітленість $30 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ при температурі $+28^\circ\text{C}$. Відносна вологість повітря становила 60%, фотоперіод 16 годин. У другій серії експериментів об'єктами були 4-х тижневі рослини кукурудзи: продуктивна інбредна лінія П-346 і малопродуктивна інбредна лінія Р 7. Рослини вирощували у вегетаційних сосудах, у ґрунтовій культурі (співвідношення: ґрунт:торф:пісок = 1:2:1) у кліматичній камері ВКШ-І за умов освітленості 30 і $9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ і температурі $+28^\circ\text{C}$, фотоперіод становив 16 годин, а також влітку на відкритій площадці (середня температура повітря становила 25°C , освітлення на 12 год. дня - $110 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$).

Хлоропласти гороху виділяли у середовищі, яке містило 50 мМ трицин NaOH (рН 7,5), 0,4 М сахарозу і 5 мМ MgCl_2 . У разі виділення хлоропластів мезофілу кукурудзи був доданий 0,1% бічачій альбумін. Після осаджування хлоропласти були ресуспендовані у середовищі, яке містило 0,1 М сахарозу, замість 0,4 М.

Фосфорильовання мембранних протеїнів здійснювали за методом Аллена (Allen, 1981). Хлоропласти підсвічували білим світлом інтенсивності 60-70 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ при температурі 20-22 $^\circ\text{C}$ впродовж 15 хв. у присутності 200 мМ АТФ і додаванням 10 мМ NaF , щоб запобігти дефосфорильованню. Контрольні (без АТФ і NaF) і "фосфорильовані" хлоропласти зазнавали фрагментації 0,3% дигітоніном ("Фотохимические системы хлоропластов", 1975, с.98). Фрагменти осаджували центрифугуванням у інтервалах 20000g, 100000g; 145000g. Перша фракція зважена на CS_2 , а дві інші на CS_1 . Хлоропласти або фрагменти CS_1 розподіляли на ПЕК за методом електрофорезу в поліакриламідному гелі (ПААГ) (Ваєзі, 1985). Електрофореграми сканували на спектрофотометрі ДМ 8 фірми "Beckman" (США) при підсвічуванні

червоним світлом 375 нм. Поліпептидний аналіз фракцій I (100000 ϵ) і 2 (145000 ϵ), збагачених на Φ C I, проводили у буферній системі за методом Дамлі (Lamali, 1970) у градієнті ПААГ І4-22% і в присутності 6 М сечовини.

Світлоіндуковані сигнали П-700 у суспензіях фракцій Φ C I вимірювалися при кімнатній температурі на модифікованому спектрофотометрі СФ-10 в константотр регистрації 0,35 с. Сигнал окислення П-700 збуджували насичуючим світлом у синій області спектра, яка виділялася набором світлофільтрів. Часові константи окислення і темного відновлення сигналу П-700 одержано внаслідок представлення відповідної кінетики у полулогарифмічному масштабі і апроксимування її лінійними функціями (Кочубей та ін., 1988).

Вимірювання низькотемпературних спектрів флуоресценції та збудження флуоресценції проводились на універсальному спектрофлуориметричному приладі (Кочубей, 1986). Обчислення другої похідної спектрів збудження проводили на ПЕОМ.

Швидкості нециклічного електронного транспорту у Φ C 2 виявляли за допомогою реакції відновлення дихлорфеноліндофенолу (ДХФІФ) від води, а для Φ C I по відновленню НАДФ від відновленого ДХФІФ у присутності ферредоксину і монурону. Активність циклічного потоку електронів виявляли за вимірюванням фотофосфорильовання із феррадинметасульфатом в хлоропластах мезофілу кукурудзи. Швидкість реакції виявляли за зменшенням неорганічного фосфату (Allen, 1940).

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Фосфорильовання мембранних білків хлоропластів в рослинах гороху, які вирощувалися за несприятливих умов

Під час досліджень було встановлено, що при дигітоніновій фрагментації хлоропластів гороху можна отримати дві фракції часток які мають властивості Φ C I. Ці фракції, які осаджували при 100 і 145 тис. г, були названі фракціями 1 і 2 відповідно. З'ясувалося, що асоціація фосфорильованих мембранних протеїнів СЗК 2 відбувається по різному з Φ C I у фракціях 1 і 2.

Так, для хлоропластів гороху, який зростає за умов зниженої освітленості ($9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; +15 °C) було встановлено, що до Φ C I у фракції 1 мігрує переважно мобільний пул СЗК 2, а перенесення комплексу білків Φ C 2 практично відсутнє. Ці дані подані у табл. I.

Таблиця I

Зміни відносного вмісту пігмент-білкових комплексів у фракціях I і 2, які викликані фосфорилуванням мембранних білків (горох; +15 °С; 9 Вт/м²)

Співвідношення площин смуг на денситограмах	Фракція I			Фракція 2		
	контроль	фосфор	ф/к	контроль	фосфор	ф/к
LHCP1 + LHCP3/CP1	0,47±0,06	0,75±0,10	1,60	0,73±0,05	1,59±0,07	2,18
LHCP1 + LHCP3/CPa	3,37±0,13	4,88±0,40	1,44	-	-	-
CP1/CPa	6,09±0,30	5,06±0,41	0,84	-	-	-
CP1/CP1a	2,12±0,07	1,61±0,01	0,75	1,24±0,08	1,91±0,02	1,56
LHCP1/LHCP3	0,54±0,14	0,46±0,22	0,86	0,25±0,05	0,27±0,06	1,10

CP1a і CP1-комплекси CP1-ів світлозбиральним комплексом (СЗК1) і без нього відповідно;
 LHCP1 і LHCP3-олигомерна та мономерна форми СЗК2;
 CPa- комплекс реакційних центрів CP2.

Зони LHCPI і LHCPS - олігомерна та мономерна форми СЗК 2 відповідно, значно збільшуються внаслідок фосфорилування. В зоні CPa, де розташовані білки реакційних центрів ФС 2, зміни незначні. При фосфорилуванні спостерігається збільшення фонду СЗК 2 по відношенню до комплексів ФС I і дорівнює 60% для фракції I і більш 100% для фракції 2. Це збільшення тим істотніше, що у вихідних, контрольних зразках фонд СЗК 2 був більшим для фракції I. З цього виходить, що міграція фосфорильованого СЗК 2 відбувається неоднаково до ФС I, яка міститься у фракціях I і 2.

Оцінку взаємодії перенесеного до ФС I пулу СЗК 2 проводили за порівнянням співвідношень χ а/в і амплітуд у спектрах збудження при 350 і 680 нм, що належать χ а і в відповідно. Асоціація фосфорильованого СЗК 2 відбувається з антеною F720 і ефективність перенесення енергії для цього процесу становить 50%. У фракції 2 асоціація відбувається з обома антенами F720 і F35, а ефективність складає 70% (табл. 2). Елизькі оцінки ефективності асоціації СЗК 2 з ФС I були одержані також при вимірюванні сигналу П-700. Співвідношення χ л/П-700 характеризує загальний перетин поглинання, а напівчас окислення ($\tau_{\text{окисл}}$) - ефективний. У фракції I 55% фосфорильованого СЗК 2, який мігрував до ФС I, взаємодіє з нею. Це значення добре узгоджується із значенням, що одержано за флуоресцентними даними. У фракції 2 напівчас окислення виявився однакоим як для контрольного, так і для фосфорильованого зразків. Але у той же час спостерігалось 30% прискорення темної релаксації (табл. 2). Це означає, що прискорилося відновлення окисленого П-700. Тому для фракції 2 виявилось важким провести оцінювання ефективного пулу СЗК 2 за кінетичними параметрами сигналу П-700.

Аналіз пігмент-білків часток ФС I фракції I з контрольних і фосфорильованих хлоропластів з рослин гороху, який вирощувався за умов підвищеної температури (+28°C; 30 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$) показав, що у цю фракцію одночасно з СЗК 2 мігрує значна кількість білків комплексу ФС 2. Для фракції 2 перенесення останніх не спостерігалось (табл. 3). Асоціація фосфорильованого СЗК 2 відбувається в обидва канали ФС I (F720 і F35) у фракціях I і 2, причому ефективність асоціації становить 100% у фракції I і 70% у фракції 2 (табл. 4). Асоціація комплексу ФС 2 з ФС I спостерігається за умовами проведеного дослідження тільки в тому разі, коли у фракції I з контрольних хлоропластів міститься незначна кількість комплексу ФС 2 і СЗК 2. Але в тих випадках, коли в контрольних частках ФС I вже

Таблиця 2

Зміни спектральних характеристик фракцій I і 2 з хлоропластів рослин гороху ($9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; $+15^\circ\text{C}$), які викликані фосфорилуванням мембранних білків

Параметр	Фракція I			Фракція 2		
	контроль	фосфор	ф/к	контроль	фосфор	ф/к
Хл а/в	$5,9 \pm 0,4$	$3,8 \pm 0,3$	0,64	$4,60 \pm 0,5$	$3,50 \pm 0,4$	0,76
$E_{650}/E_{680}^{\text{H}}$	$0,44 \pm 0,04$	$0,51 \pm 0,04$	1,16	$0,43 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,03$	1,14
Хл/П-700	222 ± 14	311 ± 36	1,40	252 ± 15	326 ± 22	1,29
$F_{\text{окисл.}}$, с	$0,47 \pm 0,12$	$0,37 \pm 0,04$	0,78	$0,52 \pm 0,1$	$0,55 \pm 0,1$	1,05
$F_{\text{відн.}}$, с	91 ± 5	90 ± 4	0,99	93 ± 12	65 ± 7	0,69

* дані наведені за спектром збудження флуоресценції, що вимірювалась в області 720 нм

Таблиця 3

Зміни відносного вмісту пігмент-білкових комплексів у фракціях I і 2, викликані фосфорилюванням мембранних білків хлоропластів рослин гороху (+28 °C; 30 Вт/м²)

Співвідношення площин смуг на денситограмах	Фракція I			Фракція 2		
	контроль	фосфор	Ф/к	контроль	фосфор	Ф/к
ЛНСР1 + ЛНСР3/СР1	0,21±0,02	0,65±0,26	3,12	0,25±0,01	0,43±0,03	1,72
ЛНСР1 + ЛНСР3/СРa	2,60±0,03	4,50±0,03	1,72	-	-	-
СР1/СРa	10,20±1,70	4,90±0,90	0,51	-	-	-
СР1/СР1a	4,00±0,80	1,80±0,50	0,45	-	-	-
ЛНСР1/ЛНСР3	0,77±0,03	0,87±0,02	1,12	0,25±0,02	0,37±0,03	1,49

Таблиця 4

Зміни спектральних характеристик фракцій I і 2 з хлоропластів рослин гороху (30 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; +28°C), які викликані фосфорилуванням мембранних білків

Параметр	Фракція I			Фракція 2		
	контроль	фосфор	ф/к	контроль	фосфор	ф/к
Хл а/в	5,1 \pm 0,6	4,2 \pm 0,5	0,82	4,6 \pm 0,8	3,6 \pm 0,6	0,77
E ₆₅₀ /E ₆₈₀	0,51 \pm 0,04	0,60 \pm 0,04	1,18	0,51 \pm 0,05	0,58 \pm 0,04	1,14
Хл/П-700	266 \pm 35	326 \pm 27	1,28	163 \pm 14	196 \pm 11	1,20
f _{окисл.} *	2,8 \pm 0,4	2,0 \pm 0,3	0,69	0,70 \pm 0,02	0,71 \pm 0,01	1,01
f _{відн.} *	43 \pm 3	45 \pm 5	1,04	33 \pm 2	24 \pm 2	0,73

* вимірювання проводились при 5% актинічному світлі.

присутні асоціати $\text{СЗК } 2 - \text{СЗК } 1$ спостерігається перенесення антенних комплексів $\text{СЗК } 2 - \text{СР } 43$. Це можна було виявити за аналізом тонкої структури спектрів збудження. Ці спостереження дозволяють припустити, що можлива міграція не тільки інтегрального комплексу $\text{СЗК } 2$, але й окремих його частин, наприклад, антени $\text{СР } 43$, білки якої, як відомо, фосфорилуються. Висновок про 100% асоціацію $\text{СЗК } 2$ з $\text{СЗК } 1$ випливає з даних про зміну співвідношення $\text{хл}/\text{П-700}$ і налівчас окислення П-700 (табл. 4) у фракції 1. Але у фракції 2 швидкості окислення та відновлення П-700 після фосфорилування (табл. 4) мали таку ж тенденцію, як і у "тіньового" матеріалу тієї ж фракції (табл. 2). Швидкість окислення майже не змінювалася, проте швидкість відновлення прискорювалася майже на 27%. Можна припустити, що у цій фракції при фосфорилуванні мігрує один і той же пул $\text{СЗК } 2$, що викликає однакові структурні перебудови у локусі реакційних центрів.

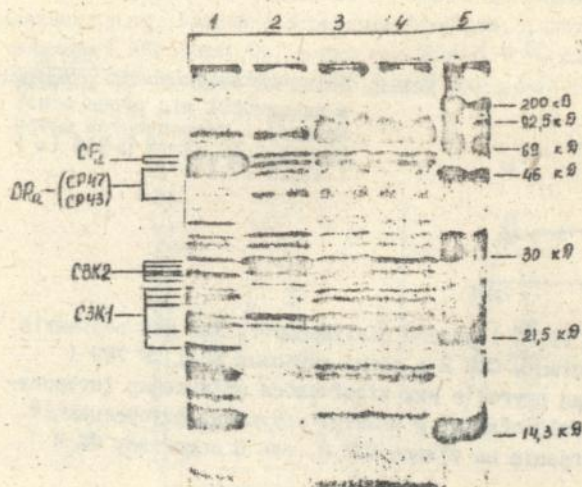
В роботі показано, що частки $\text{СЗК } 1$ фракції 1 і 2 відрізняються пігмент-білковим та поліпептидним складом, як в області білків $\text{СЗК } 2$, так і білків $\text{СЗК } 1$ (мал. 1). Це дає підставу, щоб припустити, що вони екстрагуються з різних ділянок мембранної системи хлоропластів. Можливо, вони є аналогом щойно виявлених часток $\text{СЗК } 1_{\alpha}$ і $\text{СЗК } 1_{\beta}$ з граничних і міжграничних тилакоїдів відповідно.

Фосфорилування білків хлоропластів з рослин кукурудзи різних інбредних ліній

Показано, що дві інбредні лінії (П-346 і F7) кукурудзи відрізнялися в організації фотосинтетичного апарату за співвідношенням $\text{хл}/\text{в}$ (3,4 і 3,0) відповідно і відносним розміром $\text{СЗК } 2$ за різними рівнями освітленості - 9, 30, 110 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$. Динаміка нагромадження відносного пулу $\text{СЗК } 2$ при зниженні освітленості була також різною (мал. 2).

У лінії П-346 збільшення відносного розміру пулу $\text{СЗК } 2$ майже не відбувається при зниженні рівня освітленості від 110 до 30 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, а у лінії F7 це збільшення становить біля 85%. При зниженні освітленості від 30 до 9 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ у лінії П-346 спостерігається збільшення відносного розміру пулу $\text{СЗК } 2$ на 35%, а у лінії F7 на 15%.

Спостереження змін спектральних характеристик при фосфорилуванні мембранних білків показало, що вони майже однакові для хлоропластів мезофілу рослин малопродуктивної лінії F7 за середнім



Мал. I. Електрофореграми поліпептидного складу фрак-

цій ФС1 і ФС2 рослин гороху (+15 С; 9 Вт/м²):

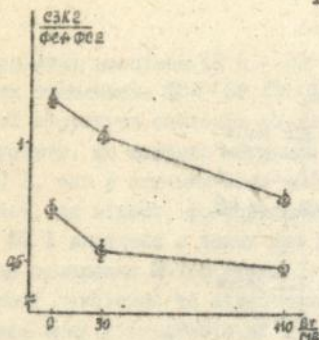
1 - фракція 2 (контроль);

2 - фракція часток ФС2 (осадок після 20000 г);

3 - фракція 1 (після фосфорилування);

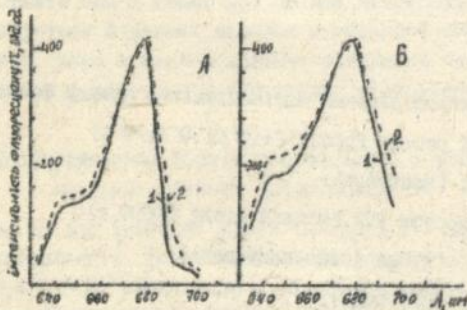
4 - фракція 1 (контроль);

5 - маркери фірми "Amersham", (Великобританія).



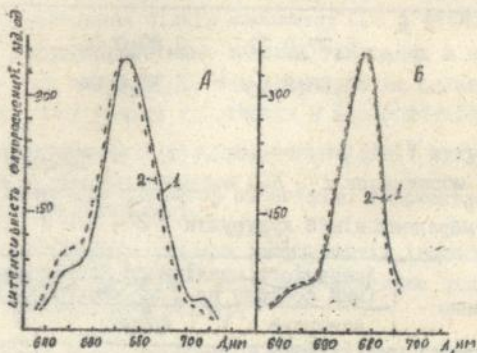
Мал. 2. Зміни співвідношення $\frac{СЗК 2}{ФС I + ФС 2}$ в залежності від рівня освітленості в хлоропластах мезофілу рослин лінії П-346 (○) і лінії F7 (Δ).

(30 $\frac{Вт}{м^2}$) і низьким (9 $\frac{Вт}{м^2}$) рівнем освітленості. Для цих варіантів спостерігалася асоціація СЗК 2 з обома антенами ФС I (F 720 і 735 нм), причому для другої з них відмічалася збільшення інтенсивності у довгохвильовій області у спектрі збудження флуоресценції. Це свідчить про міграцію не тільки СЗК 2, але й комплексу ФС 2 (мал. 3).



Мал. 3. Спектри збудження низькотемпературної флуоресценції, що вимірювались в області 735 нм (А) 720 нм (В) контрольних (1) і фосфорильованих (2) хлоропластів мезофілу лінії F7 (30 $\frac{Вт}{м^2}$ + 28°C).

Для хлоропластів рослин лінії П-346, що вирощувалися за оптимальних умов, виявлено асоціацію фосфорильованого СКЗ 2 тільки в антені F 735 (мал. 4), а при освітленні $9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ спостерігається асоціація СКЗ 2 в два канали С I , як і для лінії F 7.



Мал.4. Спектри збудження низькотемпературної флуоресценції, що вимірювалися в області 735 нм (А) і 720 нм (Б) контрольних (1) і фосфорильованих (2) хлоропластів мезофілу лінії П-346 ($30 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; + 28°C)

Порівняння спектральних змін в хлоропластах кукурудзи, що викликані фосфорильованням мембранних білків виявляє, що вони є відмінними від аналогічних змін хлоропластів гороху. Оскільки ці зміни відбивають різний характер перебудови мембранної системи для рослин різних видів, то це дозволяє зробити висновок, про генетичну детермінованість цього процесу.

Дослідження змін фотохімічної активності хлоропластів кукурудзи, що обумовлені фосфорильованням мембранних білків, дозволили підтвердити раніше запропоновану гіпотезу про те, що антени С I - F 735 і F 720 - обслуговують різні електронні потоки, нециклічний і циклічний, відповідно. У випадках, коли збільшувався перенос енергії на антену F 720 спостерігалася підсилення циклічного транспорту. Аналогічним чином збільшення переносу енергії на антену F 735 обумовлює збільшення швидкості нециклічного транспорту (табл. 5 і 6).

Таблиця 5

Вплив фосфорилування СЗК 2 на швидкість нециклічного транспорту електронів на рівні ФС I

Об'єкт дослідження	Швидкість відновлення НАДФ ⁺ /мкм НАДФ ⁺ на 1 мг хлорофілу на годину/		
	контроль	фосфор	ф/к
П-346	5,37±0,33	6,89±0,06	1,28
F 7	3,90±0,03	4,25±0,04	1,09

Таблиця 6

Зміни активності циклічного фотофосфорилування двох інбредних ліній кукурудзи П-346 і F 7

Об'єкт дослідження	Активність циклічного фотофосфорилування (мкм фосфору на 1 мг хлорофілу на годину)		
	контроль	фосфор	ф/к
П-346	39,9±0,4	40,0±0,3	1,00
F 7	25,5±0,5	40,0±0,4	1,56

Таким чином фосфорилування мембранних білків в хлоропластах С₃ і С₄ рослин (горох і кукурудза), які розрізняються за специфічною фотосинтетичного метаболізму, спостерігаються відмінності в структурних і функціональних змінах. Відмінності виявляються і у хлоропластах рослин з однаковим типом фотосинтетичного метаболізму, але які підлягали впливу різних несприятливих умов. Ці дані дають підставу зробити висновок, що фосфорилування мембранних протеїнів і перерозподіл відповідних пігмент-білкових комплексів у мембранній системі хлоропластів зумовлює регуляцію спрямованості фотосинтетичного процесу на синтез певних метаболітів, які необхідні клітині, або у зв'язку з особливостями метаболізму рослин того чи іншого виду, або для того, щоб рослини одного й того ж виду адаптувалися до різних умов навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

1. Перебудови мембранної системи хлоропластів, що виникають внаслідок фосфорилювання мембранних білків, суттєво залежать від умов вирощування. У рослинах гороху, які росли в умовах зниженої освітленості, фосфорилювання призводило до міграції тільки СЗК₂, а за умов підвищеної температури – крім цього спостерігалось перенесення білків комплексу ФС₂ у різному складі.
2. Взаємодія з фосфопротеїнами виявляє існування в мембранах хлоропластів двох типів ФС I, які різняться за складом поліпептидів і по-різному можуть асоціювати з фосфопротеїнами.
3. Інбредні (продуктивна і малопродуктивна) лінії кукурудзи відрізняються за відносним розміром СЗК 2 і характером його накопичення при зміні освітленості.
4. Перебудови мембранної системи хлоропластів інбредних ліній кукурудзи при фосфорилюванні відрізняються одна від одної і від таких для хлоропластів гороху.
5. Антени F 735 і F 720 зв'язані з нециклічним і циклічним потоками електронів у ФС I відповідно.
6. Зміни фотохімічної активності, зумовлені фосфорилюванням мембранних білків, різняться для хлоропластів С₃ і С₄ рослин, що зросли за оптимальних умов.

Список робіт, опублікованих за темою дисертації

1. Жукова-Скрынник Я.Ф., Шевченко В.В. Динамика светособирающего хлорофилл а/в комплекса фотосистемы 2 у растений кукурузы различной продуктивности // Вклад молодых ученых в интенсификацию сельского хозяйства УССР. Тез. докл. конф. мол. ученых.- Чабаны.- 1991.- С.59.
2. Жукова-Скрынник Я.Ф., Сытник С.К., Кочубей С.М. Динамика светособирающего хлорофилл а/в протеина фотосистемы 2 при затенении растений // Фотосинтез и фотобио-технология. Тез. докл. Междунар. конф.- Пушино.- 1991.- С.72.

3. Жукова Я.Ф. Изменение относительного количества пигмент-белковых мембранных комплексов и апопротеинов, вызываемых изменениями освещенности // Актуальные проблемы физиологии растений и генетики. Тез. докл. конф. мол. ученых. - Киев. - 1992. - С.6.
4. Жукова Я.Ф., Шевченко В.В. Изменения фотосистемы I, вызываемые фосфорилированием мембранных белков хлоропластов из растений гороха, выращенных при повышенной температуре // Актуальные проблемы физиологии растений и генетики. Тез. докл. конф. мол. ученых. - Киев. - 1992. - С.9.
5. Кочубей С.М., Жукова Я.Ф., Сытник С.К. Вариации светособирающего комплекса хлоропластов инбредных линий кукурузы с различным уровнем продуктивности // Докл. Акад. наук. - 1992. - Т.325, №1. - С.202-206.
6. Мануїльська С.В., Жукова-Сиринник Я.Ф. Особливості ліпідного та пігмент-білкового складу двох фракцій часток фотосистеми I та їх змін внаслідок фосфорильовання білків у рослин гороху за умов підвищеної температури // 4 Укр. біохім. з'їзд. - Київ. - 1992. - Ч.3. - С.36.
7. Кочубей С.М., Жукова Я.Ф., Шевченко В.В. Взаимодействие мембранных фосфопротеинов с фотосистемой I в хлоропластах растений гороха, выращенных при повышенной температуре // Биохимия и физиол. культ. растений. - 1993 (принята до друку).

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підп. до друку 04.02.93. Формат 60x84/16. Папір друк. Офс. друк.
Умов. друк. арк. 0,93. Умов. фарб.-відб. 0,93. Обл.-вид.арк. 0,8.
Тираж 100 прим. Зам. 441. Безкоштовно.

Віддруковано в Інституті математики АН України
252601 Київ 4, МСП, вул. Терещенківська, 3

440615

AB 26.997