

ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ ОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОНТОГЕНЕЗЕ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ

С.Н. ЧЕРЕЗОВ, А.В. АЛЕКСЕЕВА, Л.В. ШИКИНА

Оценивали содержание углеводов, азотистых и липидных соединений, а также соотношение углеводов и азотистых метаболитов в листьях различных ярусов и корнях растений картофеля в онтогенезе.

Задача современной физиологии состоит в разработке принципов управления биопродуктивностью фитоценозов, мобилизации потенциала продуктивности растений. Необходимым условием для определения стратегии влияния на ход формирования урожая является исследование взаимосвязи между основными физиологическими процессами (1). Ассимиляция азота и фотосинтез находятся в постоянном взаимодействии, при этом метаболизм азота играет ведущую роль в регуляции восстановительного, окислительного и азотного циклов (2). Вся сложная цепь превращений минерального азота (восстановление нитратов, синтез аминокислот и белков) протекает при непосредственном участии фотосинтеза, обеспечивающего метаболизм энергетическими эквивалентами и первичными восстановленными соединениями углерода (3). Фотосинтез и ассимиляция азота — единый комплекс фотосинтетических реакций: восстановительный цикл углерода, гликолатный путь и фотодыхательный азотный цикл. Соотношение отдельных звеньев регулируется энзиматическими системами и находится в постоянном динамическом равновесии, что обеспечивает согласованность усвоения углерода и азота.

Специфической биологической особенностью растений картофеля (по сравнению с зерновыми культурами) является интенсивный односторонний поток ассимилятов из надземной части в корневую со времени формирования клубней. Донор ассимилятов фотосинтез и их акцептор (процессы роста и отложения запасных веществ) образуют взаимосогласованную систему source—sink (4, 5). Одной из приоритетных задач изучения биологии образцов картофеля, перспективных для картофелеводства, является оценка процессов индукции клубнеобразования, организации и регуляции донорно-акцепторных систем у растений с целью повышения величины и качества урожая (6). В связи с этим в задачу нашей работы входило исследование динамики содержания углеводов, азотистых и липидных соединений в онтогенезе растений картофеля, благодаря которым осуществляется рост и коррелятивная (донорно-акцепторная) связь между надземной и корневой частями растения.

Методика. Объектом исследования служили растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Невский (столовый урожайный, среднеранний). Полевые опыты проводили в течение двух лет (2004–2005 годы). Фазы развития растений определяли по Лорху (7). Пробы отбирали во все фазы с интервалом в 1 нед: появление всходов (1 нед), фаза бутонизации (2, 3, 4 нед), фаза цветения (5, 6, 7 нед), конец фазы цветения и период максимального развития ботвы (8, 9, 10 нед) и конец периода вегетации — фаза отмирания ботвы (11 нед). Продолжительность вегетационного периода растений от посадки до активного развития ботвы составляла 70–80 сут и до увядания — 100–115 сут. Каждая проба включала по пять растений, которые высушивали до воздушно-сухой массы. Развитие растений контролировали по изменению сухой массы. Для анализа использовали

листья верхнего, среднего и нижнего ярусов, а также корни. В процессе вегетации растений было отобрано 11 проб. Для определения углеводов (СНО), азотистых (СНН) и липидных соединений использовали метод инфракрасной спектроскопии (ИК). Измерения проводили на спектрофотометре «IFS-113». Высушенные органы растений (листья и корни) измельчали до порошкообразного состояния, смешивали с небольшим количеством вазелинового масла, растирали в агатовой ступке и тонким слоем наносили на подложку KBr, пропускающую инфракрасные лучи.

Необходимо отметить, что ИК-спектроскопию, особенно среднюю область ИК-спектра, давно и успешно применяют для определения содержания биохимических компонентов в растительных объектах на основе использования гармоник и комбинационных составляющих ИК-спектров (8, 9). В нашей работе спектры снимали в средней ИК-области, где основные компоненты растений имеют характерные и неперекрывающиеся между собой полосы поглощения, максимальная интенсивность которых составляет 1020 (углеводы), 1630 (белки и аминокислоты) и 1740 (липиды) см^{-1} (10).

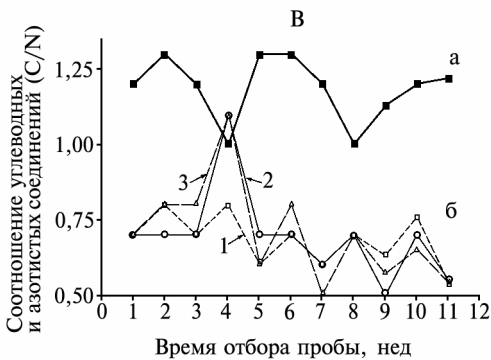
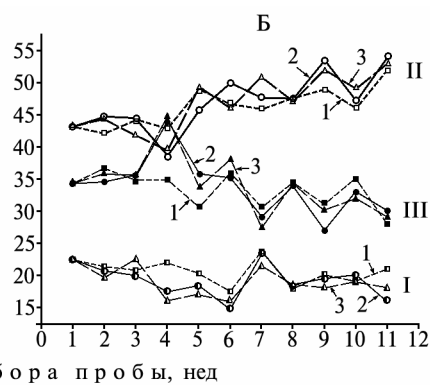
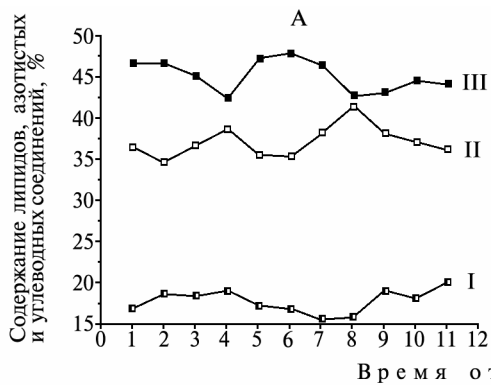
Биологическая повторность опытов — 3-4-кратная, аналитическая — 5-кратная. Статистическую обработку данных проводили по первому порогу доверительной вероятности; стандартная ошибка измерений составляла не более 4-5 %. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Селянинову (11): $\text{ГТК} = \Sigma r / 0,1 \cdot \Sigma t$, где Σr и Σt — соответственно сумма осадков (мм) и сумма активных температур за вегетационный период. ГТК в 2004 и 2005 годах был равен соответственно 1,33 и 1,41*.

Результаты. В ходе онтогенеза изменялась интенсивность и направленность обменных процессов, активность ферментов, что хорошо согласуется с фазами развития растений. Азотистых соединений в онтогенезе растений картофеля в листьях всех ярусов содержалось больше, чем углеводов, а в корнях, наоборот (рис. А и Б).

Рассмотрим динамику содержания СНО- и СНН-соединений в листьях за период вегетации. Содержание СНО-соединений в листьях всех ярусов (верхний, средний и нижний) в фазу бутонизации было почти одинаковым. Максимум СНО соединений в листьях среднего и нижнего ярусов приходился на конец фазы бутонизации и начало фазы цветения (4 нед). В ходе дальнейшей вегетации (вплоть до конца клубнеобразования) содержание этих метаболитов снижалось незначительно. В среднем же за весь период вегетации содержание СНО-соединений в листьях всех трех ярусов было почти постоянным.

Динамика азотистых метаболитов в листьях была следующей: в первые 4 нед вегетации содержание СНН-соединений было почти равным в листьях всех трех ярусов, затем на 4-ой нед для листьев среднего и нижнего ярусов наблюдался минимум и в репродуктивный период развития происходило почти равномерное увеличение СНН-соединений в листьях всех ярусов. Интересно, что максимум СНО- и минимум СНН-соединений отмечены в одно и то же время (на 4-й нед вегетации) на границе фаз бутонизации и начала цветения растений картофеля. Это достоверно установленный экспериментальный факт, подтверждением которого служит и то, что независимо друг от друга анализировали листья разных ярусов.

* Авторы благодарят заведующего кафедрой метеорологии, климатологии и экологической атмосферы Казанского государственного университета Ю.П. Переведенцева и сотрудника этой кафедры К.М. Шанталинского за любезно предоставленные данные по температуре и количеству осадков за летние месяцы 2004 и 2005 годов.



Содержание липидов (I), азотистых (II) и углеводных (III) соединений в корнях (А) и листьях разных ярусов (Б) растений картофеля сорта Невский в онтогенезе; В — соотношение углеводных и азотистых соединений (C/N) в корнях (а) и листьях (б): 1, 2 и 3 — листья соответственно верхнего, среднего и нижнего ярусов.

Итак, в онтогенезе листьев картофеля азотный метаболизм преобладает над углеводным, что, по всей видимости, обусловлено интенсивным превращением первичных продуктов фотосинтеза во вторичные (белки и аминокислоты). Содержание липидов и углеводов в листьях в онтогенезе в среднем снижалось, однако минимальное (на 6-й нед) и максимальное (на 7-й нед) содержание липидов соответствовало максимуму и минимуму СНО-метаболитов.

Онтогенетические изменения содержания СНО- и СNH-соединений в корнях представляют собой зеркальное отображение друг друга (см. рис. А). В начале (4 нед) и конце (8 нед) фазы цветения отмечено минимальное содержание СНО-соединений, которому соответствовало максимальное количество СNH-метаболитов. В среднем за все время вегетации содержание СНО-соединений в корнях было больше, чем СNH, а содержание липидов — почти в 3-4 раза меньше, чем азотистых и углеводных метаболитов. При сравнении кривых изменения содержания СНО- и СNH-соединений в корнях и листьях видно, что в процессе онтогенеза в корнях преобладает углеводный, а в листьях — азотный метаболизм. Закономерности изменения содержания СНО- и СNH-метаболитов представлены в виде соотношения (C/N) (см. рис. В). В среднем отношение C/N в листьях составляло 0,7 (азотный метаболизм), а в корнях 1,2 (углеводный метаболизм). Максимум C/N в листьях в конце фазы бутонизации (4 нед) наиболее выражен для листьев нижнего и среднего ярусов. Следовательно, в нижней надземной части растений происходит интенсивное накопление фотосинтетических ассимилятов.

Аналогичные данные были получены Мокроносковым, который с помощью изотопного метода показал, что у растений картофеля до начала формирования клубней значительное количество ассимилятов накапливается в основании стеблей (12). Результаты наших исследований свидетельствуют также о том, что и нижние листья могут быть емким фондом ассимилятов. В этот критический период развития растений картофеля (на границе вегетативной и репродуктивной фаз) в листьях нижнего яруса

резко повышалось соотношение C/N, за счет увеличения содержания сахаров и уменьшения количества азотистых соединений. В корнях, наоборот, в этот период соотношение C/N снижалось в результате уменьшения содержания сахаров и увеличения количества азотистых соединений. Повидимому, в этот период развития растений имеет место резкая полярированность распределения первичных ассимилятов: максимальное содержание углеводов в листьях (на фоне азотного метаболизма), аминокислот и белков — в корнях (на фоне углеводного метаболизма).

Таким образом, нами показано, что в процессе клубнеобразования растений картофеля участвуют все органы, и в течение онтогенеза в листьях преобладает азотный метаболизм, а в корнях — углеводный. Индукция клубнеобразования происходит на границе фаз бутонизации и начала цветения за счет резкого перераспределения ассимилятов: в листьях нижних ярусов содержание сахаров увеличивается, а азотистых соединений — уменьшается, а в корнях, наоборот, количество сахаров снижается, а азотистых соединений — возрастает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головкин Т.К. Соотношение фотосинтеза и дыхания в продукционном процессе некоторых видов культурных растений. В сб.: Фотосинтез и продукционный процесс. Свердловск, 1988: 118-124.
2. Андреева Т.Ф. Метаболизм углерода и азота при фотосинтезе и фотодыхании. В сб.: Азотное и углеродное питание растений и их связь при фотосинтезе. Пушкино, 1987: 20-38.
3. Ничипорович А.А., Нгуен Тхыу Тхыок, Андреева Т.Ф. Сравнительная оценка взаимосвязи между фотосинтезом и некоторыми особенностями азотного метаболизма у кукурузы и бобов. Физиол. раст., 1972, 19, 5: 1066-1073.
4. Мокроносов А.Т. Онтогенез и целостность растительного организма. М., 1986.
5. Мокроносов А.Т. Эндогенная регуляция фотосинтеза в целом растении. Физиол. раст., 1978, 25, 5: 938-951.
6. Чайлахян М.Х., Мокроносов А.Т. Предисловие. В сб.: Регуляция роста и развития картофеля. М., 1990: 3-5.
7. Лорх Л.Г. О картофеле. М., 1960.
8. Крищенко В.П., Ефремов Н.Г. К вопросу о возможности определения биохимических показателей семян рапса ИК-методом. В сб.: Применение спектроскопии в ближней инфракрасной области для контроля качества продуктов. М., 1989, 4: 71-80.
9. Загребва Е.Д., Савенков В.В., Гиновская М.К. и др. Исследование микробной биомассы в фундаментальном диапазоне ИК-спектра. В сб.: Применение спектроскопии в ближней инфракрасной области для контроля качества продуктов. М., 1989, 4: 111-120.
10. Черезов С.Н., Жиркова Е.Ю., Племенкова С.Ф. и др. Оценка содержания азотистых и углеводных соединений у амаранта в онтогенезе методом инфракрасной спектроскопии внутреннего отражения. Физиол. раст., 1997, 44, 1: 91-98.
11. Чирков Ю.И. Агрометеорология. Л., 1986.
12. Мокроносов А.Т. Клубнеобразование и донорно-акцепторные связи у картофеля. В сб.: Регуляция роста и развития картофеля. М., 1990: 6-12.

Казанский государственный университет
им. В.И. Ульянова-Ленина, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Поступила в редакцию
12 сентября 2006 года

DYNAMICS OF MAIN METABOLIC PROCESSES IN POTATO PLANTS ONTOGENESIS

S.N. Cherezov, A.V. Alekseeva, L.V. Shikina

S u m m a r y

The authors have studied the dynamics of main metabolic processes in ontogenesis of potato plants. The content of carbohydrate, nitrogenous and lipid compound was estimated and also the ratio between carbohydrate and nitrogenous metabolites in the leaves of different stages and the roots. It was shown that all organs take part at the tuberization in potato plants and during ontogenesis nitrogenous metabolism predominates in the leaves, but the carbohydrate — in the roots. The induction of tuberization occurs on boundary of budding and beginning of flowering due to drastic redistribution of assimilates: in leaves of lower stages sugars content is increasing but nitrogenous compound — decreasing, in the roots on the contrary sugars content is decreasing but nitrogenous compound — increasing.