

УДК 581.144:581.192.7

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РОСТ, ФОТОСИНТЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS* L.)

Е.А. КАЛИНИНА

(Кафедра агрономии ФГОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»)

Изучено действие синтетического ауксина (индолил-3-масляной кислоты, ИМК) и цитокинина (6-бензиламинопурина, БАП) на рост, фотосинтетическую функцию и урожай зеленой массы кукурузы. Показано стимулирующее действие этих соединений на формирование вегетативных надземных органов, функционирование фотосинтетического аппарата, чистую продуктивность фотосинтеза и накопление биомассы растений. Сделан вывод о возможном повышении урожая зеленой массы кукурузы с помощью этих биологически активных соединений.

Ключевые слова: кукуруза, ауксин, цитокинин, рост, фотосинтез, продуктивность.

Кукуруза является ценной с.-х. культурой. Высокая продуктивность кукурузы, определяющаяся C_4 -типом фотосинтеза и интенсивными ростовыми процессами [10, 13], обусловила широкое использование ее в пищевых и кормовых целях.

Однако почвенно-климатические условия Калининградской обл. позволяют возделывать эту культуру лишь на зеленую массу и силос, что связано с недостатком ФАР, суммы эффективных температур и избыточным увлажнением почвы [1]. Негативное влияние этих факторов наиболее сильно растения испытывают на начальных этапах онтогенеза.

Литературные данные позволили нам предположить, что уменьшить действие этих факторов на растения можно с помощью биологически активных соединений — синтетических ауксинов и цитокининов — аналогов природных фитогормонов. Они оказывают существенные положительные эффекты на все стороны продукционного процесса: формирование и функционирование фотосинтетического

аппарата, транспорт и распределение ассимилятов в растениях, рост, развитие хозяйственно ценных органов [5, 8, 13]. Высокая физиологическая активность ауксинов и цитокининов, позволяющая применять их в низких концентрациях (г/га), малая токсичность и быстрое разложение в растительных тканях служат предпосылкой для производства экологически чистой с.-х. продукции.

Несмотря на столь ценные свойства, ауксиновые и цитокининовые препараты для повышения урожайности с.-х. культур пока не используются. Эффективность действия этих соединений на растения находится лишь в стадии изучения, причем в большинстве случаев работы подобного рода проводят на модельных системах — изолированных органах или их частях [4, 6]. Возможность стимуляции с помощью ауксинов и цитокининов роста и продуктивности в целых интактных растениях пока неясна.

Поэтому целью настоящей работы явилось изучение действия высокоактивного синтетического ауксина

индоллил-3-масляной кислоты (ИМК) и цитокинина 6-бензиламинопурина (БАП) на рост вегетативных надземных органов, фотосинтетическую функцию и урожайность кукурузы для выяснения принципиальной возможности использования этих соединений в технологии выращивания культуры на зеленую массу.

Методика

Объектом исследования явились растения кукурузы *Zea mays* L. СТК-189 МВ. Это 3-линейный гибрид универсального направления ставропольской селекции [12], районированный в Калининградской обл. с 2000 г. Гибрид раннеспелый, вегетационный период в условиях региона составляет 67-98 дней, высота стеблестоя 157-231 см, средняя урожайность сухого вещества — 83,3, максимальная — 171,6 ц/га, процент сухого вещества — 13,8-21,6 (данные сортоиспытаний любезно предоставлены Инспектурой по сортоиспытаниям и охране селекционных достижений по Калининградской обл.).

В наших опытах растения выращивали в открытом грунте с соблюдением основных элементов технологии и агротехники, принятых для культуры, пестициды не использовали. Почва экспериментального участка была дерново-подзолистой, глеевой окультуренной (легкий суглинок, pH_{KCl} 4,6-5,1; мощность пахотного слоя 20~22 см; содержание гумуса — 2,0%; общего азота — 70 мг/кг почвы, доступных форм фосфора — 250, обменного калия — 187, магния — 250, кальция — 200, бора — 0,36, меди — 2,2, молибдена — 0,06 мг/кг почвы). Перед посевом вносили микроаммофоску ($N_{16}P_{16}K_{16}$ по д.в.). Норма высева семян составляла 78 кг/га всхожих семян (100 тыс. взрослых растений на 1 га).

Посев проводили во второй декаде мая при достижении оптимальной температуры почвы 10-12°C, уборку урожая — в первой декаде сентября в фазу молочной спелости. Уход за

посадками включал двукратное окучивание, регулярные фитопрофилактики и полив до достижения влажности почвы 70-80% от полной полевой влагоемкости. Все операции проводили вручную.

Надземную часть опытных растений трижды в течение вегетации (в фазы всходов, выметывания и образование початков) опрыскивали 10^{15} М раствором ИМК или 10^{14} М раствором БАП из расчета 125 в фазу всходов и 375 л/га в фазы выметывания и образования початков ручным опрыскивателем емкостью 0,5-1,5 л. Оптимальную концентрацию препаратов подбирали предварительно в вегетационных опытах. Контрольные растения опрыскивали дистиллированной водой.

В онтогенезе определяли длину и диаметр стебля, весовым методом [11] — площадь листьев 3-го яруса и ассимиляционный потенциал (суммарную площадь листьев) растения. Удельную поверхностную плотность листьев (УППЛ) — сухую массу единицы площади поверхности листа — измеряли после высушивания листовых высечек определенной площади при температуре 105°C [11]. Интенсивность фотосинтеза анализировали бескамерным методом, основанным на регистрации изменения содержания углерода органических веществ в листовых высечках на свету с учетом его траты за счет темнового дыхания. Суммарная площадь высечек в одной пробе — 6,8 см²; время экспозиции — 5 ч, интенсивность освещения 70 Вт/м² ФАР (лампы ЛД-40). Углерод органических веществ определяли путем мокрого сжигания в хромовой смеси при кипячении. Изменение концентрации образовавшихся ионов Cr^{3+} проводили с помощью спектрофотометра «Spectol-II» (Carl Zeiss, Германия) при длине волны 582 нм [11]. Урожай зеленой массы в вариантах оценивали в фазу молочной спелости по общей сырой биомассе надземной части растений с

учетных делянок. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по приросту сухой массы растений, отнесенному к площади листовой поверхности за учетный период [11].

Мелкоделяночные опыты. Площадь делянки — 10 м², общее количество делянок — 12, повторность — десятикратная.

Опыты проведены на Учебно-научной станции КГТУ (пос. Луговое Гурьевского района Калининградской обл.) в 2003-2005 гг. Погодные условия вегетационных периодов 2003 и 2004 гг., а также мая — июля 2005 г. были благоприятными для кукурузы. Количество осадков и сумма температур приближались к средним многолетним значениям. В августе 2005 г. было зафиксировано отклонение погодных условий от средних многолетних значений: среднесуточная температура была ниже на 3°С, а количество осадков — вдвое больше нормы, что создало неблагоприятные условия для развития и формирования урожая кукурузы.

Средние данные опытов обработаны методом дисперсионного анализа.

Результаты и их обсуждение

Важнейшими факторами, определяющими продуктивность растений, является интенсивность и сбалансированность роста и фотосинтеза [2, 3, 9].

Известно, что ауксины и цитокинины стимулируют рост за счет активации двух этапов жизненного цикла клеток — деления и растяжения [6, 8]. В наших опытах четко проявилось действие ИМК и БАП на ростовые процессы.

Примерно в равной степени эти соединения стимулировали рост стебля, увеличивая его длину и толщину на 12-20% (рис. 1). Разница между длиной стебля контрольного и опытных вариантов становилась особенно заметной к концу вегетации (у 80-суточных растений). Диаметр стебля под влиянием фиторегуляторов увеличивался уже в начале онтогенеза, и разница

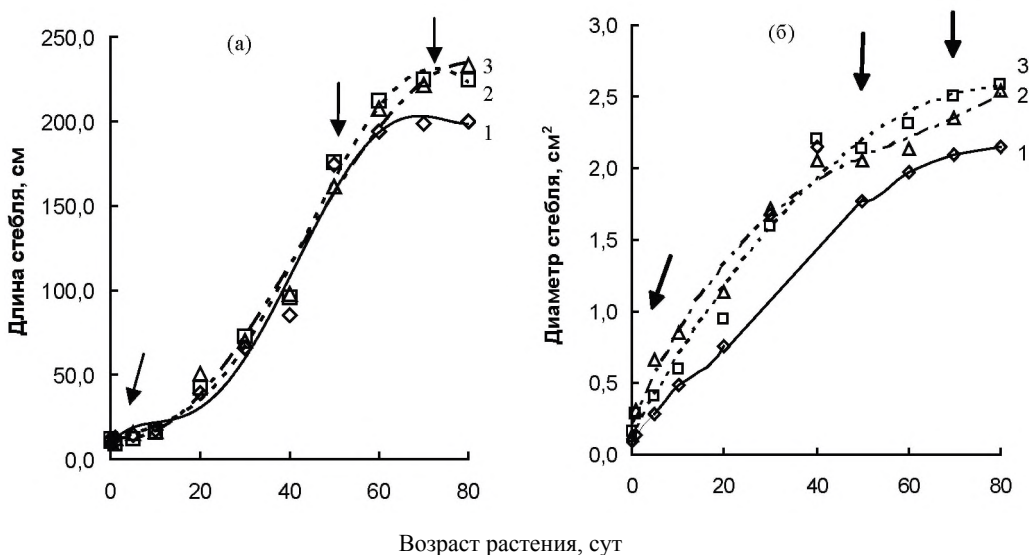


Рис. 1. Действие ИМК и БАП на рост стебля в онтогенезе растений кукурузы: (а) — длина стебля (НСРода = 3,4); (б) — диаметр стебля (НСРода = 0,1). Вариант опыта: 1 — контроль (вода); 2 — ИМК, 10¹⁵ М; 3 — БАП, 10¹⁴ М. Стрелками указаны моменты обработки растений фиторегуляторами

между опытом и контролем сохранялась почти на постоянном уровне в течение всего онтогенеза. Важно, что увеличение толщины стебля вносит вклад не только в формирование урожая зеленой массы, но и обеспечивает необходимую прочность растения.

Уже на начальных этапах онтогенеза ИМК стимулировала рост листьев, что способствовало 20~30%-му увеличению окончательного размера

отдельного листа и ассимиляционного потенциала растений в целом, это особенно отчетливо проявилось в конце вегетации. Действие же БАП на рост листьев было менее значительным. Общая площадь листьев практически не отличалась от контроля. Тем не менее существовала тенденция к увеличению размера листьев, а площадь отдельного листа увеличивалась на 20% к концу вегетации (рис. 2).

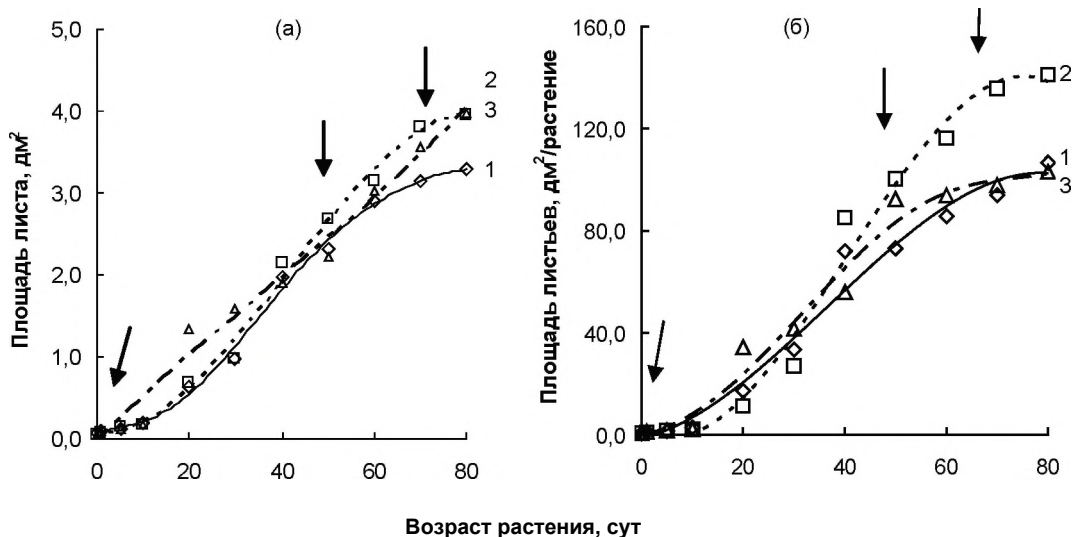


Рис. 2. Кривая роста листа 3-го яруса (а) и суммарная площадь листьев (ассимиляционный потенциал) (б) в онтогенезе растений кукурузы при действии ИМК и БАП ($HCPR_{0,05} = 1,9$). Вариант опыта: 1 — контроль (вода); 2 — ИМК, 10⁻⁵ М; 3 — БАП, 10⁻⁴ М

При этом весьма отчетливо проявлялось положительное действие ИМК и особенно БАП на УППЛ. Это, по-видимому, свидетельствовало об увеличении толщины листовой пластинки, т.е. об улучшении развития мезофилла листа и оптимизации работы фотосинтетического аппарата растений.

В литературе существуют сведения о стимуляции цитокинином структурной и биохимической дифференциации хлоропластов, в т.ч. синтез хлорофилла, компонентов электронтранспортной цепи фотосинтеза [3, 13]. В отношении ауксина встречаются лишь единичные сведения о положительном

влиянии на фотосинтетическую деятельность листьев за счет увеличения числа клеток в листе и активации клеточных делений [7].

Действительно было выявлено, что и ауксин, и цитокинин повышали фотосинтетическую активность листьев в 1,3 и 1,6 раз соответственно (рис. 3).

К аналогичному заключению мы пришли на основании данных по анализу чистой продуктивности фотосинтеза — показателя, характеризующего эффективность фотосинтеза листьев в посевах. Этот показатель несколько возрастал после обработки растений ИМК и существенно — в 1,5 раза —

Таблица 1

**Действие ИМК и БАП на УППЛ листа
3-го яруса интактного растения кукурузы**

Вариант	УППЛ	
	мг/см ²	% от контроля
Контроль (вода)	0,520 ± 0,017	100,0
Опыт: ИМК, 10 ⁻⁵ М	0,547 ± 0,018	105,2
БАП, 10 ⁻⁴ М	0,560 ± 0,015	

Примечание. Обрабатывали всходы и растения в возрасте 50 сут; анализировали через 20 сут после второй обработки.

увеличивался под действием БАП (рис. 4).

По-видимому, благодаря стимуляции роста и фотосинтеза урожай зеленой массы кукурузы увеличился на 7 — 9% при обработке растений ауксином и на 11-14% при их опрыскивании цитокинином. К тому же при неблагоприятных погодных условиях положительное действие БАП на урожай зеленой массы проявлялось сильнее, что, может быть, связано с протекторным действием этого соединения (см. рис. 4).

Таблица 2

**Действие ИМК и БАП на биомассу надземной части интактных растений кукурузы
в фазу молочной спелости**

Вариант	Сырая масса, кг с учетной делянки (10 м ²)					
	2003 г.	% от контроля	2004 г.	% от контроля	2005 г.	% от контроля
Контроль (вода)	26 ± 4	100,0	34 ± 6	100,0	14 ± 3	100,0
Опыт: ИМК, 10 ⁻⁵ М	28 ± 3	107,7	37 ± 6	108,8	15 ± 6	107,1
БАП, 10 ⁻⁴ М	29 ± 3	111,5	38 ± 6	111,8	16 ± 5	114,3

НСР 0,05 = 0,1.

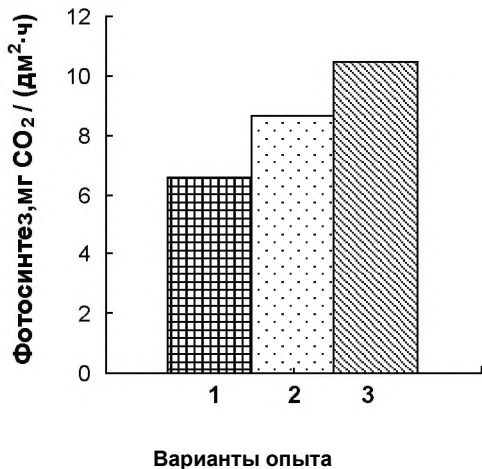


Рис. 3. Действие ИМК и БАП на интенсивность фотосинтеза листьев интактных растений кукурузы (НСР_{0,05} = 0,1). Варианты опыта: 1 — контроль (вода). 2 — ИМК, 10⁻⁵ М; 3 — БАП, 10⁻⁴ М

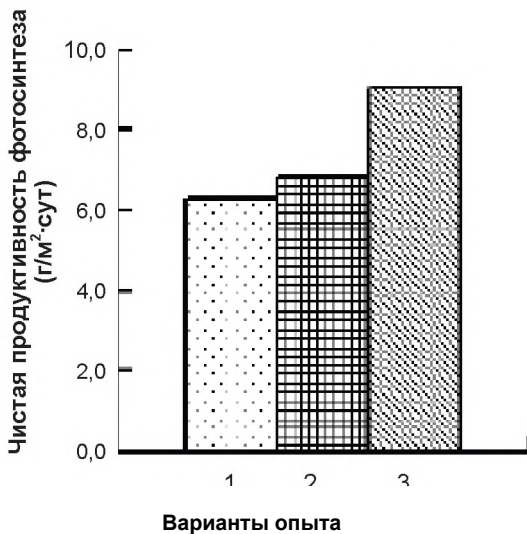


Рис. 4. Действие ИМК и БАП на чистую продуктивность фотосинтеза интактных растений кукурузы (НСР_{0,05} = 0,8). Вариант опыта: 1 — контроль (без фитогормона); 2 — ИМК, 10⁻⁵ М; 3 — БАП, 10⁻⁴ М

Заключение

Проведенные исследования показали эффективность действия ИМК и БАП на рост, фотосинтетическую функцию

растения кукурузы и возможность повышения урожая зеленой массы культуры с помощью этих биологически активных соединений.

Библиографический список

1. Географический атлас Калининградской области / Гл. ред. В.В. Орлёнок. Калининград: Издательство КГУ, 2002.
2. Мокроносов А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза / А.Т. Мокроносов. М.: Наука, 1981.
3. Мокроносов А.Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А.Т. Мокроносов, В.Ф. Гавриленко. М.: Наука, 1992.
4. Муромцев Г.С. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений / Г.С. Муромцев Д.И. Чкаников, О.Н. Кулаева, К.З. Гамбург. М.: Агропромиздат, 1987.
5. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев (XV Тимирязевское чтение) / А.А. Ничипорович. М.: Изд-во АН СССР, 1956.
6. Полевой В.В. Роль ауксина в системах регуляции растений / В. В. Полевой // 44-е Тимирязевское чтение. JL: Наука, 1986.
7. Лузина Т.И. Динамика индолилуксусной кислоты в органах картофеля на разных этапах онтогенеза и ее роль в регуляции роста клубня / Т.И. Пузина, И.Г. Кирилова, Н.И. Якушкина // Известия АН. Серия биологическая. М., 2000. №2. С. 170-177.
8. Роньжина Е.С. Цитокинины в регуляции донорно-акцепторных связей у растений / Е.С. Роньжина. Калининград: КГТУ, 2005.
9. Семихатова О.А. Сопряженность процессов фотосинтеза и дыхания / О.А. Семихатова, О.В. Заленский // Физиология фотосинтеза / Под ред. А.А. Ничипоровича. М.: Наука, 1982. С. 130-145.
10. Третьяков Н.Н. Справочник кукурузовода / Н.Н. Третьяков, Ю.И. Чирков, В.Х. Зубенко и др. М.: Россельхозиздат, 1985.
11. Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Л.А. Паничкин, М.Н. Кондратьев и др. / Под ред. Н.Н. Третьякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: КолосС, 2003.
12. Характеристики сортов растений, впервые включенных в 1997 г. в Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использованию. М., 1997.
13. Чернядьев И.И. Регуляция фотосинтеза синтетическими цитокининами и повышение продуктивности растений / И.И. Чернядьев // Прикладная биохимия и микробиология. 1989. Т. XXV. Вып. 2. С. 147-165.

Рецензент — д. с.-х. н. Н.Н. Третьяков

SUMMARY

The effect of artificial auxin (indole-3-butyric acid) and cytokinin (6-benzylaminopurine) on the growth, photosynthesis and crop formation of maize plants is studied. It has been shown that both regulators are able to stimulate growth of stems and leaves, activate functioning of photosynthetic apparatus and increase biomass of plants. The conclusion is that both auxin and cytokinin might be used as a plant growth regulator to increase plant productivity

Key words: *Zea mays* L., auxin, cytokinin, growth, photosynthesis, productivity (crop capacity).