

УДК 632.937; 595.142.39; 591.23

## Тканевая и временная специфичность синтеза Cry-белков у Bt-растений

**А.Г. ВИКТОРОВ,**  
старший научный сотрудник  
Института проблем  
экологии и эволюции  
имени А.Н. Северцова РАН

Широкое применение трансгенных растений со временем преподнесло их разработчикам и пользователям довольно неприятный сюрприз. Выяснилось, что ряд Bt-культур не справляется с вредными насекомыми, против которых они были выведены. Так, например, Bt-хлопчатник (Bollgard® в США, Ingard® в Австралии, Monsanto Co., St. Luis, MO) проявляет высокую эффективность против табачной огневки *Heliothis virescens* и хлопковой моли *Pectinophora gossypiella*. Однако для контроля численности хлопковых совок *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera exigua*, *Helicoverpa zea*, *H. armigera* и *H. punctigera* во многих случаях необходимо было применение пиретроидов, карбаматов и даже фосфорорганических соединений (Adamczyk, Sumerford, 2001). Кроме того, наблюдения показали, что гусеницы хлопковых совок значительно чаще встречаются на семенных коробочках, чем на прицветниках и листьях (Adamczyk et al, 2001).

Изучению этого феномена была посвящена серия работ. Так, исследование содержания эндотоксина Cry1Ac в различных тканях хлопчатника (Bollgard® 531 на основе сорта Coker 312) в течение всего сезона 1995 г. показало, что в верхушечных листьях и тканях плодов оно варьировало очень сильно. Среднее содержание эндотоксина в тканях плодов уменьшалось с 57,1 мкг/г сухого веса у растений 53-дневного

возраста до 6,7 мкг/г сухого веса у 116-дневного хлопчатника. Еще значительнее снижалась концентрация эндотоксина в верхушечных листьях – с 163,4 до 34,5 мкг/г сухого веса соответственно. Существенные различия в содержании эндотоксина наблюдались и у растений, произрастающих в разных частях поля. Это свидетельствует о том, что окружающая среда может оказывать влияние на синтез Cry1Ac или его стабильность. Во всех случаях активность Cry1Ac белков в верхушечных листьях была выше, чем в тканях плодов (Greenplate, 1999).

При исследовании других сортов трансгенного хлопчатника GK19 (несущего Cry1Ac/Cry1Ab химерный ген) и BG1560 (несущего обычный Cry1Ac ген) китайские ученые выявили еще более сложную картину варьирования синтеза эндотоксина во времени: содержание Cry-белков находится на высоком уровне на ранних и поздних стадиях развития хлопчатника и падает в середине вегетационного сезона. Во всех случаях содержание эндотоксина в листьях, лепестках и тычинках было существенно выше, чем в семяпочках и семенных коробочках. Интересным представляется и то обстоятельство, что синтез Cry1Ac/Cry1Ab химерного белка в линии GK19 был подвержен более высокой изменчивости в течение всего вегетационного сезона по сравнению с линией BG1560 (Wan et al, 2005).

В Индии фермеры предпочитают трансгенный хлопчатник с большой продолжительностью вегетации и поздним созреванием (Bollgard-

MECH-162, Bollgard-RCH-2 и Bollgard-RCH-20), так как по сравнению с другими гибридами (Bollgard-MECH-12, Bollgard-MECH-184, Bollgard-RCH-134, Bollgard-RCH-138, Bollgard-RCH-144) он имеет большие коробочки и лучшее качество волокна. Однако именно у сортов позднего созревания быстрее падает уровень синтеза Cry-белков, что вынуждает во избежание экономического ущерба проводить обработки инсектицидами (Kranthi et al, 2005).

У трансгенной кукурузы (Bt11) наиболее интенсивная экспрессия Cry-белков происходит в тканях листьев. В период физиологической зрелости растений концентрация токсина держится на уровне 3,3 мкг/г сырого веса. Пик экспрессии бактериального гена в тканях листьев приходится на 25-й день вегетации кукурузы – 168 нг/мг протеинов. Однако со временем этот показатель падает и уже на 84-й день составляет лишь 10,2 нг/мг. Уровень синтеза Cry-белков в других тканях растений кукурузы в период ее зрелости варьирует от 0,4 ppm в кочерыжке початка до 16,2 нг/мг в зерне при модальном значении для большинства других тканей 6 нг/мг (EPA, 2000).

Ситуация усложняется тем, что модифицировать экспрессию бактериального гена могут многие факторы окружающей среды, например, температура и влажность, содержание азота и концентрация углекислого газа в атмосфере. К уменьшению синтеза Cry-белков у Bt-хлопчатника приводит как дефицит N, так и повышение концентрации CO<sub>2</sub> (Coviella et al, 2002). Напротив, увеличение количества вносимых N-содержащих удобрений приводит к увеличению синтеза Bt-эндотоксина на 14 % (Pettigrew, Adamczyk, 2006). Повышение температуры окружающей среды до 37 °C приводит к существенному снижению содержания Cry1Ac-белков в растениях хлопчатника в стадии семен-

ных коробочек (Chen et al, 2005). Существенно снижает уровень синтеза Bt-эндотоксина как дефицит, так и избыток  $H_2O$ , однако степень этого снижения зависит от уровня влажности и конкретного органа растений (Benedict et al, 1996). Очевидно, что синтез Cry-белков тесно связан с метаболизмом азота Bt-растений, а на содержание Bt-эндотоксина могут также сильно влиять процессы деградации и ремобилизации.

Тем не менее, далеко не все факторы окружающей среды приводят к уменьшению содержания Bt-эндотоксина в тканях трансгенных растений. Так, засоление почв до уровня 100 mM NaCl не приводит к значимым изменениям в содержании Cry-белков в Bt-хлопчатнике между опытом и контролем (Jiang et al, 2006).

Падение уровня Bt-эндотоксина не всегда означает потерю инсекти-

цидных свойств трансгенного растения. Очевидно, что для каждого вредителя есть свой пороговый уровень концентрации Cry-белков в тканях растений. Пока он определен лишь в единичных случаях. Так, Kranthi et al (2005) определили данный показатель для хлопковой совки *H. armigera* – 1,8 мкг/г веса сырого растения хлопчатника. При концентрации Bt-эндотоксина ниже этого уровня выживаемость гусениц на трансгенном хлопчатнике существенно повышается.

Необходимо отметить, что чувствительность разных вредителей к Cry1Ac-белкам различна. Так, хлопковые совки рода *Helicoverpa* (основные вредители хлопчатника в Аргентине, Индии и Китае) почти в 10 раз устойчивее к ним по сравнению с табачной огневкой *Heliothis virescens* – основным вредителем хлопчатника в США. Гусеницы совок питаются тканями репродуктивных

органов, огневки предпочитают листья. Разная чувствительность этих насекомых к эндотоксину и разный уровень его концентрации в тканях растений и приводят к тому, что в США Bt-хлопчатник имеет 99–100 % инсектицидную эффективность, в то время как в странах третьего мира она далека от этого показателя.

Наблюдаемая картина временной и тканевой специфичности количества производимого трансгенным растением Cry-белка, усугубляемая видоспецифичной чувствительностью вредителей к Bt-эндотоксину, во многом усложняет как оценку экологических рисков, так и эффективность использования Bt-растений в сельскохозяйственном производстве.

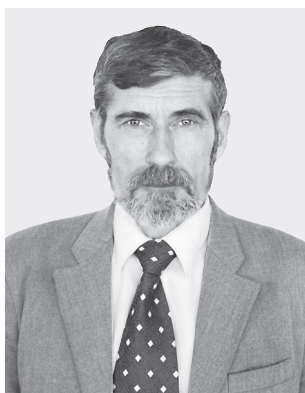
Примечание. Мкг – микрограмм, нг – нанограмм, ppm – частица на миллион, mM – 1/1000 молекулярного веса растворенного вещества.

## Памяти А.Г. Махоткина

13 июня 2008 года на 61-м году жизни скончался Александр Георгиевич Махоткин – известный энтомолог, доктор биологических наук, руководитель Азовской научно-исследовательской лаборатории ВИЗР.

Более трех десятилетий отдал он научной деятельности, причем половину этого времени работал во Всероссийском институте защиты растений.

Александр Георгиевич осуществил ряд глубоких оригинальных исследований вредоносности пшеничных мух, занимался мониторингом фитосанитарного состояния плодовых и полевых агроценозов, выявлением резистентных популяций вредной черепашки, разрабатывал технологию применения новых пестицидов. Им внесен существенный вклад в формирование экологически безопасной системы защиты промышленных садов.



Будучи активным членом Русского энтомологического общества, А.Г. Махоткин с увлечением изучал жизнь насекомых, мог часами рассказывать о роли и особенностях членистоногих.

Глубоко разбираясь в теории изучаемых им вопросов, Александр Георгиевич всегда был нацелен на то, чтобы его труды, его рекомендации были как можно полнее востребованы производством, свои научные планы тесно увязывал с запросами сельского хозяйства.

Им опубликовано 160 научных работ, многие из них увидели свет на страницах журнала «Защита и карантин растений».

Светлая память об этом удивительном человеке, одаренном исследователе, энтомологе сохранится надолго в наших сердцах.

**В.А. ПАВЛЮШИН,**  
директор ВИЗР