

УДК 632.782 : 633.18(597)

© А. Л. Монастырский и Е. С. Сугоняев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ РИСА В СЕВЕРНОМ ВЬЕТНАМЕ. IV. МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СБОРА И АНАЛИЗА ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВРЕДНОСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОГНЕВОК (LEPIDOPTERA, PYRALIDAE) — ВРЕДИТЕЛЕЙ РИСА

[A. L. MONASTYRSKII a. E. S. SUGONYAEV. ECOLOGICAL FOUNDATIONS
OF THE INTEGRATED RICE PROTECTION IN VIETNAM. IV. A METHOD OF SUCCESSIVE TAKING
AND ANALYZING SAMPLES FOR ESTIMATION OF THE DAMAGE CAUSED BY PYRALID MOTHS
(LEPIDOPTERA, PYRALIDAE) INJURIOUS TO RICEL]

В предыдущих публикациях данной серии показано важное экономическое значение листовёртки-огневки (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) (ЛО) и желтой стеблевой огневки (*Scirpophaga incertulas* Walker) (ЖСО) (Монастырский, Сугоняев, 1995, 2001). Оба вида при высокой плотности их популяций могут существенно влиять на урожайность риса. Вместе с тем продемонстрировано сопротивление, или толерантность, рисового хилла (гнезда) — искусственно сформированной единицы растительной популяции.

Вредоносная деятельность ЛО и ЖСО на рисе заметно отличается, так как предметом атаки первого вида являются листья, а второго — стебли.

В целом вредоносность есть показатель снижения урожая в результате взаимодействия популяций поврежденного растения и насекомого — фитофага (Танский, 1988). Существует значительное количество методов определения вредоносности насекомых, критерием которой являются пороги вредоносности: биологические (в результате развития и питания насекомого) и экономические (потери урожая), предполагающие защитные мероприятия (Танский, 1988). Наиболее прогрессивным методом определения вредоносности в настоящее время считается системный анализ, в разработке теоретических основ которого достигнуты определенные успехи (Шатихин, 1974; Васильев, Танский, 1984), однако практическое использование результатов системного анализа все еще ограничено. Принимая системный подход для изучения вредоносности ЛО и ЖСО, мы вместе с тем вели поиск методов, направленных на мониторинг и управление популяциями вредных видов. Наиболее перспективным, по нашему мнению, является метод последовательного сбора (и анализа) образцов (МПСО) — особей и поврежденных ЛО и ЖСО соответственно. Его теоретическая значимость рассмотрена Бинсом и Ниропом (Binns, Nyrop, 1992). Меньше известно о практическом использовании метода, в частности применительно к вредителям риса. Наиболее значительные разработки в отношении стеблевых вредителей риса сделаны Нишидой и Тории (Nishida, Torii, 1970), однако особенности технологии возделывания культуры и видовой состав чешуекрылых-стеблевых вредителей в Японии вносят существенные ограничения в его использование в тропических странах Юго-Восточной Азии. Главной задачей

наших исследований была разработка аналогичного экспресс-метода, направленного на определение в полевых условиях размеров популяции вредителя и принятия оперативного решения. Основой для разработки послужили результаты системного анализа вредоносности ЛО (Монастырский, Сугоняев, 1995) и ЖСО (Монастырский, Сугоняев, 2001).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Полевые эксперименты проводились в дельте Красной реки на полевых участках Ханойского сельскохозяйственного университета и в уезде Куок Оай. Объектами исследований являлись ЛО и ЖСО. Общим видам свойствен скрытый образ жизни, однако осмотр листовой трубки, формируемой ЛО, позволяет точно определить численность гусениц вредителя, тогда как численность ЖСО определяется по количеству поврежденных стеблей.

В качестве сорта риса для изучения вредоносной деятельности использовался сорт CR 203.

МПСО включает определение характера распределения вредоносной стадии, который может существенно различаться в зависимости от того, что было принято за единицу образца, а также от результата соотношения между средней величиной распределения (\bar{x}) и дисперсией (σ^2). Единицей образца могут быть хиллы, стебли или группы хиллов. Далее, МПСО связан с использованием 2 линейных уравнений: уравнение $Y = bn - A_n$ определяет нижний предел поврежденности (или численности вредителя); уравнение $Y = bn + A_n$ определяет верхний предел. В этих уравнениях n — суммируемое количество единиц образца; b — наклон линейного отображения уравнения, A_n и A_n — пересечение с осью ординат.

Составляющие уравнений определяются в зависимости от характера распределения осей в популяции. При этом обязательно учитывается вероятный уровень допущения ошибки α , β , которая может составлять 0.05 или 0.01. Существенным моментом является определение среднего количества образцов, необходимых для принятия решения. Так, для биномиального распределения максимальное значение n , по которому проводится анализ, составляет $n_{\max} = ((1 - \alpha)A_n - \alpha A_n) / (b - P_0)$, а минимальное значение n определяется как $n_{\min} = ((1 - \beta)A_n - \beta A_n) / (P_1 - b)$, где α и β — принятый уровень значимости, P_0 и P_1 — пределы нижнего и верхнего допустимых уровней повреждений (или численности вредителя). При случайном (Пуассоновом) распределении изменяется выражение в знаменателе соответственно $(b - m_0)$ и $(m_1 - b)$.

В наших исследованиях единицами образца служили хиллы и стебли. Поэтому расчеты необходимых компонентов линейного уравнения производились в следующем порядке.

Для биномиального распределения

$$b = \frac{\log((1 - P_0) + (1 - P_1))}{\log(P_1 / P_0) + \log((1 - P_0) + (1 - P_1))};$$

$$A_n = A_n = \frac{\log((1 - \alpha) / \beta)}{\log(P_1 / P_0) + \log((1 - P_0) + (1 - P_1))},$$

при этом $\alpha = \beta = 0.05$.

Для случайного распределения

$$b = (m_1 - m_0) \times (\ln(m_1/m_0))^{-1}; \quad A_n = A_n = (\ln(1 - \alpha) - \ln\beta) \times (\ln(m_1/m_0))^{-1},$$

где $\alpha = \beta = 0.05$, а m_0 и m_1 — нижний и верхний пределы поврежденности растений, в зависимости от которых принимается решение о проведении мероприятий, направленных на управление численностью популяций вредного вида. Определенные значения n_{\min} и n_{\max} показывают минимальное и максимальное количество единиц образца, которое необходимо просмотреть, чтобы быть уверенным в правильности выбранного решения.

Гипотетический пример готовых расчетов представлен в виде графического изображения на рис. 1.

Статистические методы обработки результатов, полученных в ходе проведения полевых и лабораторных экспериментов, общеизвестны и изложены в соответствующих источниках (Рокницкий, 1973; Готов и др., 1982).

Значительную помощь при проведении исследований оказывали Ха Куанг Хум, Чан Динь Тьен (Ханойский сельскохозяйственный университет). Чан Чи Бао, Буй Суан Фын и Нгуен

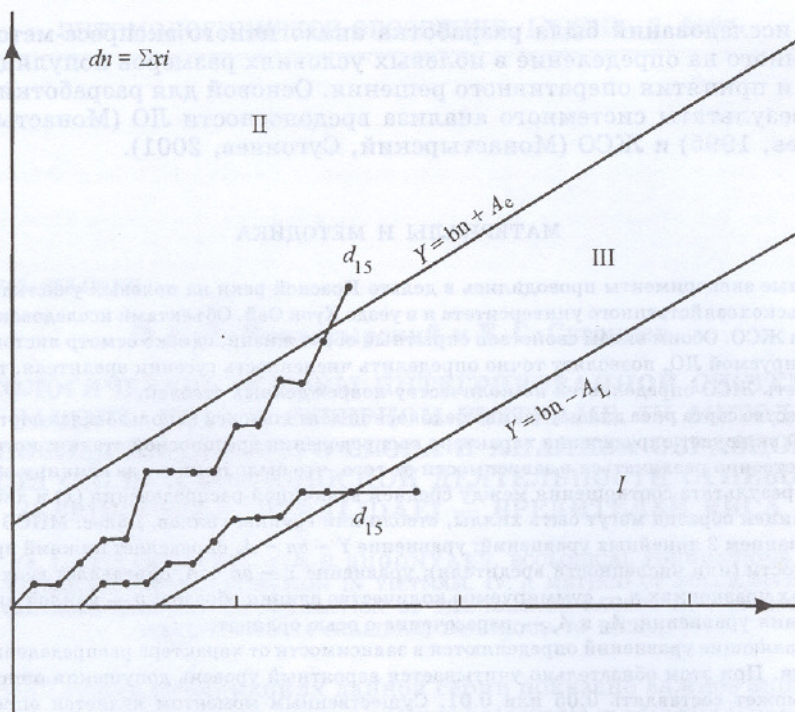


Рис. 1. Графическое изображение схемы последовательного отбора и анализа образцов. По оси абсцисс (X) — количество просмотренных единиц образца; по оси ординат (Y) — суммируемое количество особей вредителя или нанесенных повреждений. I — зона низкой поврежденности; II — зона высокой поврежденности.

Зуй Тоан, а также В. С. Румак и Чан Суан Тху, чью поддержку при проведении работ мы ощущали постоянно (Российско-Вьетнамский центр). Всем указанным лицам авторы выражают свою глубокую признательность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Главная задача в создании схемы МПСО состояла в установлении связей между результатами вредоносной деятельности ЛО (повреждение листьев) и ЖСО (повреждение стеблей) с потерями урожайности риса. Очевидны сходство и различия в изучении сопряженности данных факторов, во многом зависящие от стадии вегетации культуры (возраста растений в днях после пересадки рассады — ДПП), с которой связана атакующая активность вредителя. В деятельности обоих видов можно выделить периоды неявного (опосредованного) и, наоборот, явного (непосредственного) влияния на продуктивность культуры (урожайность). Первый случай наиболее обычен для ЛО, когда повреждение листьев, особенно в фазе кущения (15—45 ДПП), сопровождающееся естественными процессами отмирания старых и появления новых, носит во многом неявный характер в своем влиянии на последующий урожай. В редких случаях в условиях лабораторных экспериментов очень высокая численность гусениц на 1 килл (5—7 особей) до начала кущения приводила к полной гибели растения. Однако в естественных условиях подобная численность ЛО не наблюдается. В то же время изучение связей между повреждением листьев и показателями продуктивности часто приводило к противоположным результатам, поскольку иногда по-

вреждения могут являться стимулом к более быстрому росту и образованию новых листьев. Наиболее отрицательное влияние гусеницы ЛО оказывают на урожай в период цветения—начала созревания (55—75 ДПП).

Повреждения, наносимые ЖСО в фазу кушения, часто также носят неявный характер в своем влиянии на урожай. Например, имитация повреждений посредством удаления до 60 % стеблей на 15 ДПП могли быть компенсированы появлением новых стеблей, однако даже 15 %-ное повреждение на 43 ДПП сильно снижало количество продуктивных органов (Ibrahim, Singh, 1990). Повреждение продуктивных стеблей в фазу выметывания—цветения является примером прямого влияния на урожай. Необходимо лишь выяснить, насколько эти потери существенны на фоне существующей дисперсии продуктивности хиллов и стеблей.

Разработка МПСО предполагала проведение предварительных исследований, включавших: 1) определение показателей вредоносной деятельности; 2) компенсационные реакции растения; 3) определение степени поврежденности и 4) ее связь с урожайностью.

Листовертка-огневка

1. Атакующая способность выражается у гусениц ЛО уравнением экспоненциальной регрессии.

$$Y = (0.088 + 0.844 \cdot N) \cdot e^{(0.204 - 0.0085 \cdot N)T},$$

где N — численность гусениц ЛО на один хилл, T — возраст гусениц в днях, начиная с конца второго—начала третьего возраста, равный в условиях летнего сезона 11—12 дням. Настоящее уравнение весьма точно совпадает с показателями атакующей активности гусениц ЛО, установленными ранее (Neong, 1990), хотя при этом исследовалась прожорливость только одной гусеницы $Y = e^{bT}$, где b — константа питания, варьирующая в зависимости от возраста растения от 0.1815 (40 ДПП) до 0.1360 (100 ДПП). В нашем случае коэффициент регрессии в большей степени зависел от плотности гусениц на одно растение и изменялся от 0.196 до 0.119 при изменении плотности от 1 до 10 особей.

2. Компенсационная способность растений риса распространяется только на вегетационный период их развития. Этот процесс складывается из образования новых и отмирания старых листьев. Относительный прирост листьев рассчитывается по уравнению

$$1(\%) = \left[\frac{30.02 \ln t_i - 30.02 \ln (t_0 + T)}{-53.95 + 30.02 \ln (t_0 + T)} \right] \times 100,$$

где t_i — день завершения вегетативного периода. Для сорта CR 203 летнего сезона этот период завершается на 54—56 ДПП; t_0 — возраст рисового растения в момент начала вредоносной деятельности ЛО. Выражение в знаменателе описывает динамику количества листьев в хилле

$$Y = -53.95 + 30.02 \ln t.$$

3. Степень поврежденности рассчитывается с использованием выше приведенных уравнений атакующей способности и динамики объема листьев рисового хилла. При этом следует принять во внимание, что генеративный период сопровождается только сокращением числа листьев и этот процесс описывается уравнением

$$Y = 489 - 106 \ln t.$$

В этом случае степень повреждения листьев можно определить по двум уравнениям.

Для вегетативного периода

$$a_n(\%) = \left[\frac{(0.088 - 0.844 \cdot N) \cdot e^{(0.204 - 0.0085 \cdot N)T}}{-53.95 + 30.02 \ln(t_0 + T)} \right] \times 100.$$

Для генеративного периода

$$a_z(\%) = \left[\frac{(0.088 - 0.844 \cdot N) \cdot e^{(0.204 - 0.0085 \cdot N)T}}{489 - 106 \ln t} \right] \times 100.$$

Последнее уравнение используется также, если вредоносный период начинается до момента t_i , а завершается в период выметывания—цветения.

4. Влияние поврежденности листьев на урожайность. Связь степени поврежденности листьев рисового хилла на момент фазы выметывания—цветения со снижением продуктивности выражается линейным уравнением

$$Y = a + bx,$$

где a может изменяться от 8.05 до 14.63, а значение коэффициента регрессии b варьирует в пределах от 0.284 до 0.376. Это говорит о том, что с увеличением степени поврежденности листьев на 1 % продуктивность культуры снижается на 0.56—0.87 %.

Таким образом, допустимое снижение продуктивности, оцениваемое в 5—7 %, может происходить при уровне поврежденности листьев от 9 до 12.5 %. Аналогичные значения допустимой поврежденности были получены при изучении связи между степенью поврежденности и величиной потерь (в %). Данная связь характеризуется положительной регрессией — при увеличении степени поврежденности на 1 % потери возрастают на 0.28—0.38 %.

Желтая стеблевая огневка

Вид характеризуется следующими особенностями.

1. Атакующая способность определяется у ЖСО количеством поврежденных стеблей в хиллах, что в свою очередь зависит от поведения вида. В отличие от ЛЮ самки ЖСО откладывают яйца в виде компактных кладок. Вышедшие гусеницы распространяются потоками воздуха, используя при этом специально выделяемые шелковистые нити. В ходе распространения гусениц из одной яйцекладки образуется пятно, состоящее из пораженных хиллов и стеблей в них. Таким образом, изменяется картина характера распределения насекомых. Действительно, тип распределения яйцекладок ЖСО носит случайный характер. При проведении рандомизированных учетов в разные периоды вегетации на просмотренных 2313 хиллах было обнаружено 57 яйцекладок, что свидетельствует о низкой вероятности встречи $P = 0.0246$. Эта же величина соответствует средней величине заселенности хиллов яйцекладками. Дисперсия (σ^2) при этом составляет 0.0240, т. е. $\bar{x} \approx \sigma^2$ (распределение Пуассона). Максимальная и минимальная заселенность хиллов яйцекладками на разных полевых участках разных сезонов составляла соответственно $\bar{x} = 0.083$; $\sigma^2 = 0.076$ и $\bar{x} = 0.00625$; $\sigma^2 = 0.00621$. Обследование пятен, содержащих пораженные хиллы, показало, что в среднем от одной яйцекладки образуется «очаг», в котором поврежденные хиллы составляют 14.75 ± 3.14 , а стебли — 25.25 ± 4.10 . Дан-

Характер распределения поврежденных рисовых хиллов, нанесенных ЖСО в процессе вегетации (полевые эксперименты)

ДПП	Эксперимент 1			Эксперимент 2			Эксперимент 3		
	объем выборки	пораженные хиллы	σ^2 / \bar{x}	объем выборки	пораженные хиллы	σ^2 / \bar{x}	объем выборки	пораженные хиллы	σ^2 / \bar{x}
8—14	516	3	0.994	—	—	—	—	—	—
15—21	480	2	0.996	480	15	0.969	120	6	0.950
22—28	480	5	0.990	247	51	0.793	240	15	0.935
29—35	480	23	0.952	330	77	0.767	240	27	0.888
36—42	450	26	0.942	240	104	0.567	242	22	0.910
43—49	480	15	0.969	—	—	—	—	—	—
50—56	482	15	0.969	246	48	0.805	240	15	0.935
57—63	480	28	0.941	242	21	0.859	240	56	0.767
64—70	360	40	0.889	245	62	0.746	240	179	0.254

ные относятся к фазе выметывания—цветения, когда пятнистый характер повреждений фиксируется по наличию белых метелок («white head»). По данным Ву Куанг Кона (1992), численность яиц в одной яйцекладке составляет около 80, следовательно, численность вредящих особей составляет 30—40 %.

Атакующая активность ЖСО может быть оценена по флуктуирующему характеру распределения пораженных хиллов и стеблей. Приведенные в табл. 1 данные показывают, как еженедельно изменялся характер распределения, измеряемый отношением средней величины и дисперсии. Приближение результата отношения к единице свидетельствует о случайном характере распределения. Чем больше данная величина отклоняется, тем ближе характер распределения к равномерному, при котором $\sigma^2 / \bar{x} \rightarrow 0$.

Значит, чем ближе величина отношения к единице, тем меньше поврежденных хиллов. В эксперименте 1 на всем протяжении вегетационного периода поврежденность заметно не менялась. В эксперименте 2 наблюдалось заметное увеличение поврежденных хиллов в фазу кушения (20—42 ДПП), однако через 2 недели в силу отмирания поврежденных стеблей и нарастания новых, характер распределения повреждений вновь приблизился к случайному. В эксперименте 3 на протяжении вегетативной стадии развития растений флуктуация повреждений была незначительной. Атака вредителя в этом случае пришлось на начало генеративного периода, когда компенсационные процессы уже не происходили, и на протяжении 56—70 ДПП наблюдалось резкое увеличение повреждений, проявлявшихся в образовании пустозерных метелок, являющихся непосредственным свидетельством потерь урожайности.

Таким образом, соотношение σ^2 / \bar{x} является в определенном смысле показателем устойчивости популяций культуры к вредоносной деятельности ЖСО, характеризующим восстановительные процессы.

В силу биологических и экологических особенностей вредоносной деятельности ЖСО наш подход к измерению атакующей способности был основан на изучении прогностической связи между количеством яйцекладок, обнаруженных в учетах, и количеством поврежденных стеблей через 2—3 недели. Используя результаты летних наблюдений, установлена регрессивная зависимость между данными факторами. Связь выражается уравнением линейной регрессии $Y = (2/29 \pm 3.83) + 109.09X$, согласно ко-

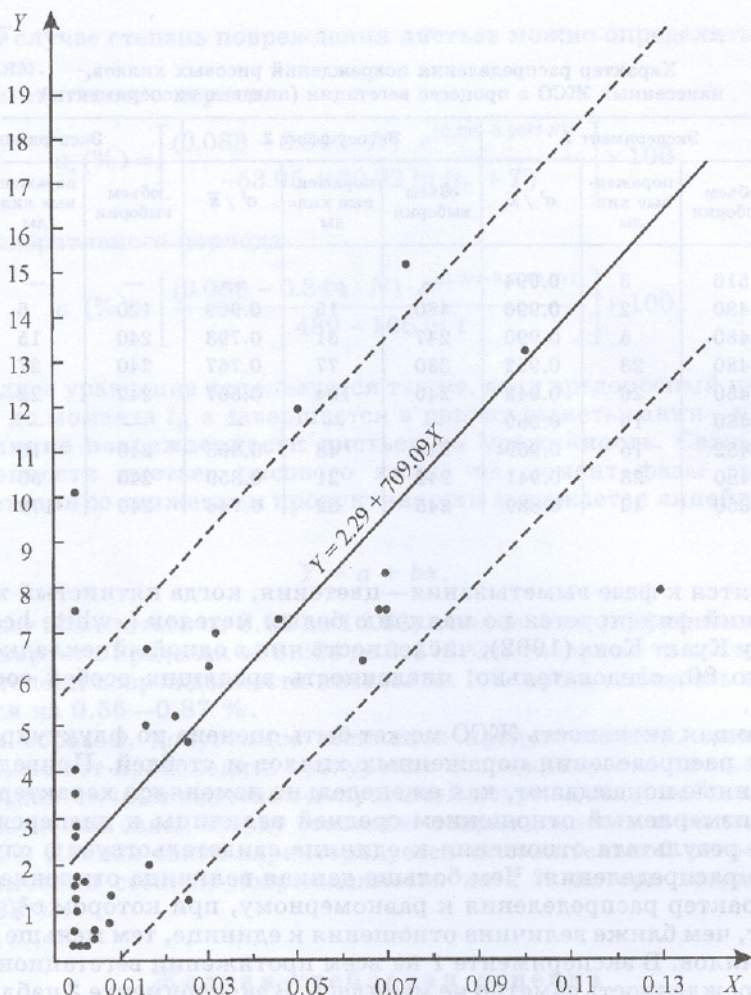


Рис. 2. Пораженность стеблей рисовых хиллов ЖСО (в %) через 2—3 недели после обнаружения яйцекладок.

По оси абсцисс (X) — численность яйцекладок на 1 хилл; по оси ординат (Y) — пораженность стеблей.

торому увеличение количества яйцекладок на 0.01 на хилл сопровождается увеличением числа поврежденных стеблей на 1.09 % (рис. 2). Вместе с тем анализ результатов учетов показывает, что при низкой плотности популяции вредителя даже при наличии репрезентативной выборки обнаружение яйцекладок может быть затруднено. В этом случае через 2—3 недели можно ожидать появления 2.3—6.1 % поврежденных стеблей, т. е. численность яйцекладок, определяющих такую степень поражения, при которой сами яйцекладки могут быть не обнаружены, составляет 0.03 на один хилл.

2. Компенсационная способность. Компенсационные возможности хиллов в ответ на вредоносную деятельность ЖСО во многом определяются динамикой стеблевого объема, которая представлена на рис. 3. Нарастание стеблей происходит приблизительно до 50 ДПП. Данный процесс описывается уравнением логарифмической регрессии $Y = 3.57 + 2.15 \ln t$, где $t \leq 50$. Коэффициент корреляции при этом $r = 0.790$ ($P < 0.01$). В дальнейшем наблюдается уменьшение стеблевого объема, описываемое уравнением

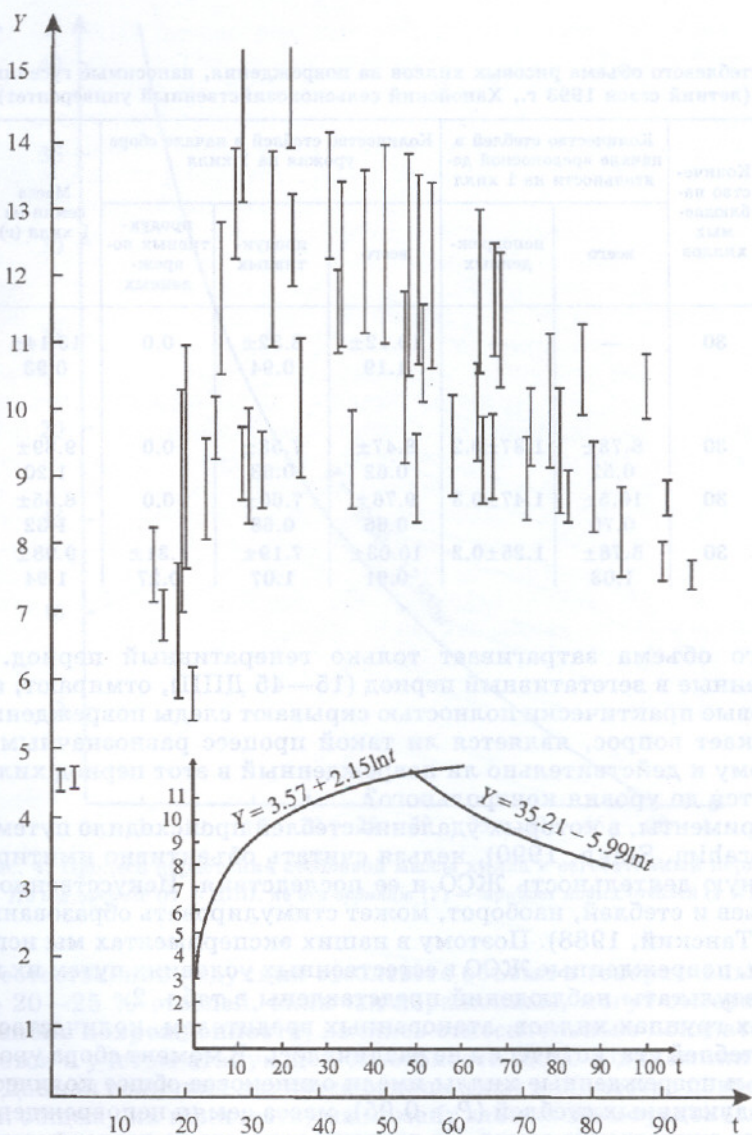


Рис. 3. Динамика стеблевого объема рисового хилла (сорт CR 203).

По оси абсцисс (t) — возраст хиллов в ДПП; по оси ординат (Y) — количество стеблей в хилле.

отрицательной логарифмической регрессии $Y = 35.21 - 5.99 \ln t$, где $t > 50$.

Максимальный объем стеблей в 2.9 раза превышал количество стеблей в хиллах в момент их высадки. Особенно бурное нарастание стеблевой массы наблюдалось в течение первых 3 недель, за которые объем достигал 10.12 стеблей, что составляло 84 % максимального объема. Следовательно, только 15 % новых стеблей может появиться за период с 20-го по 50-й день (приблизительно 1.8 стебля на хилл).

В отличие от компенсационного процесса, происходящего в вегетативный период в ответ на повреждения листьев и включающего образование новых листьев и отмирание старых, процесс естественного сокращения

Реакция стеблевого объема рисовых хиллов на повреждения, наносимые гусеницами ЖСО (летний сезон 1993 г., Ханойский сельскохозяйственный университет)

Время начала вредоносной деятельности, ДПП	Количество наблюдаемых хиллов	Количество стеблей в начале вредоносной деятельности на 1 хилл		Количество стеблей в начале сбора урожая на 1 хилл			Масса семян на 1 хилл (г)	Масса семян на 1 продуктивный стебель (г)
		всего	неповрежденных	всего	продуктивных	продуктивных поврежденных		
Растения без повреждений	30	—	—	10.12± 1.19	8.32± 0.94	0.0	13.14± 0.93	1.58
20	30	8.73± 0.52	1.37±0.2	8.47± 0.62	7.53± 0.63	0.0	9.89± 1.20	1.31
43	30	10.5± 0.70	1.47±0.3	9.76± 0.66	7.60± 0.68	0.0	8.55± 1.32	1.12
71	30	8.78± 1.03	1.25±0.2	10.03± 0.91	7.19± 1.07	1.31± 0.27	9.98± 1.94	1.39

стеблевого объема затрагивает только генеративный период. Стебли, поврежденные в вегетативный период (15—45 ДПП), отмирают, а появившиеся новые практически полностью скрывают следы повреждений. Однако возникает вопрос, является ли такой процесс равнозначным компенсационному и действительно ли поврежденный в этот период хилл восстанавливается до уровня контрольного?

Эксперименты, в которых удаление стеблей происходило путем их обрезания (Ibrahim, Singh, 1990), нельзя считать объективно имитирующими вредоносную деятельность ЖСО и ее последствия. Искусственное обрезание листьев и стеблей, наоборот, может стимулировать образование новых органов (Танский, 1988). Поэтому в наших экспериментах мы использовали хиллы, поврежденные ЖСО в естественных условиях путем их маркирования. Результаты наблюдений представлены в табл. 2.

Во всех группах хиллов, атакованных вредителем, количество поврежденных стеблей статистически не различалось. В момент сбора урожая контрольные и поврежденные хиллы имели одинаковое общее количество стеблей и продуктивных стеблей ($P > 0.05$), масса семян неповрежденных растений была существенно выше. По данному показателю поврежденные хиллы всех групп не достигали уровня контрольных, хотя по количеству стеблей происходило их восстановление. Вполне вероятно, что образовавшиеся после повреждений новые стебли либо оказывались непродуктивными (43 ДПП), либо к моменту сбора урожая масса семян новых продуктивных стеблей не достигала стандартной величины (20 ДПП). В случае повреждений, наносимых на 71 ДПП, имели место прямые некомпенсируемые потери.

Таким образом, критический взгляд на компенсационный процесс показывает его относительность в смысле полного восстановления хиллом полученных повреждений. В зависимости от возраста растения и степени поврежденности стеблевой объем хилла может почти полностью восстановиться, однако продуктивность при этом никогда не достигает стандартных значений в масштабах генеральной совокупности.

Со дня высадки хиллов, ожидаемый прирост новых стеблей в процентном исчислении представлен на рис. 4. С одной стороны, повреждения покрываются возможностями прироста, с другой стороны, они включаются в

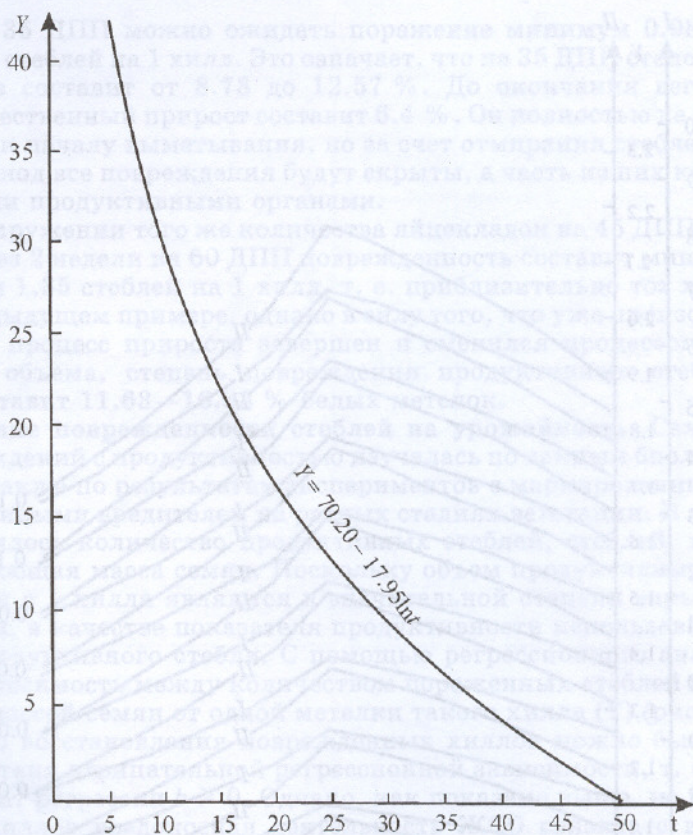


Рис. 4. Процесс нарастания стеблевой массы хилла в вегетативный период.
 По оси абсцисс (t) — ДПП, по оси ординат (Y) — прирост новых стеблей (в %).

процесс естественной редукции стеблевого объема в генеративный период, когда до 20—25 % стеблей, включая пораженные, могут отмереть.

3. Степень поврежденности, являясь относительным показателем, рассчитывается с учетом атакующей способности ЖСО и динамики стеблей в хиллах. Данная величина является отношением количества поврежденных стеблей к общему их количеству на момент завершения вредоносной деятельности. Определение поврежденности стеблей проводится посредством прямых учетов, а стеблевой объем, помимо непосредственных наблюдений, может быть установлен с использованием данных рис. 3.

Выше было отмечено, что регистрация пораженных стеблей уже не может быть использована для снижения вредоносности ЖСО.

Для этой цели необходим прогноз, который может строиться по существующей регрессионной связи между численностью яйцекладок и последующими повреждениями (рис. 2). Используя установленную связь в сочетании с динамикой стеблевого объема, была построена номограмма (рис. 5), согласно которой можно определять количество поврежденных стеблей на 1 хилл через 2—3 недели после обнаружения яйцекладок. Данная номограмма имеет ось абсцисс, на которой отложена временная переменная (ДПП) и ось ординат с 2 шкалами, на которых отмечены значения количества пораженных стеблей на 1 хилл. При построении номограммы были использованы данные по атакующей способности ЖСО и компенсационной способности хиллов (см. выше).

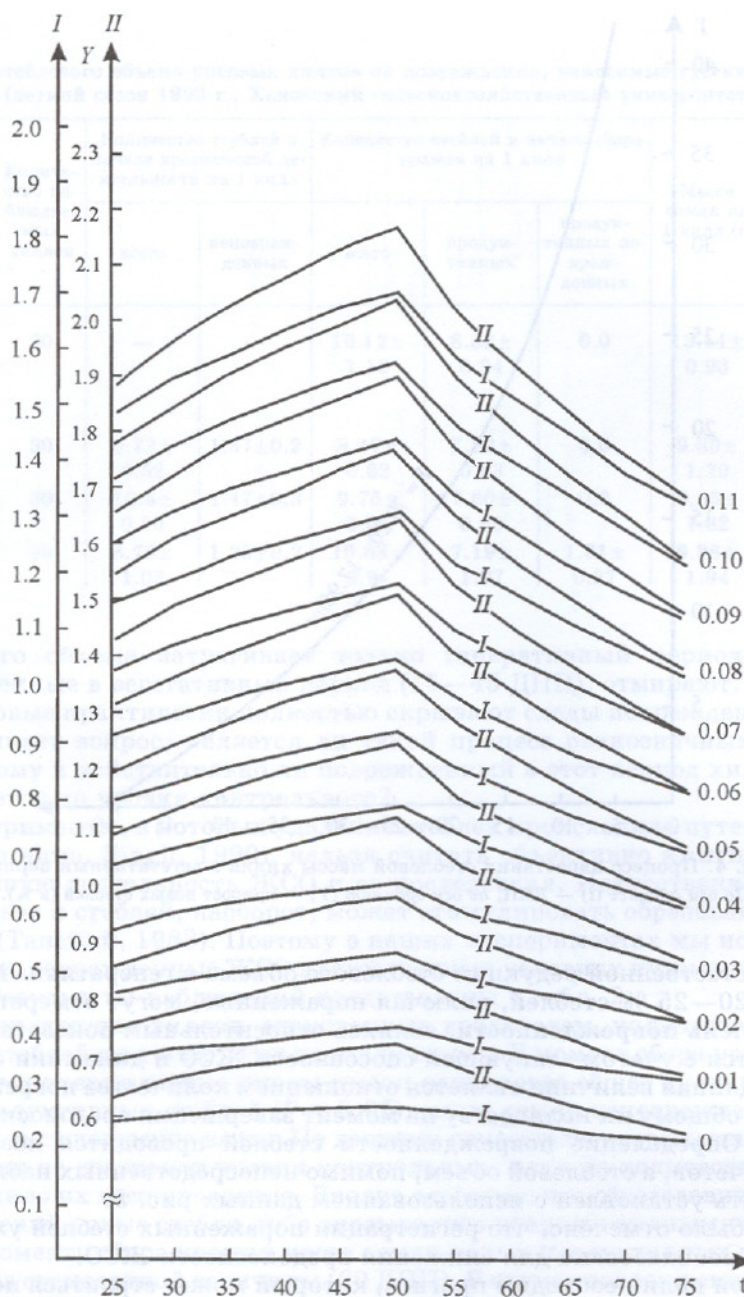


Рис. 5. Номограмма для определения поврежденности стеблей в хиллах через 2 недели после обнаружения яйцекладок ЖСО.

По оси абсцисс (X) — ДПП; по оси ординат (Y) — I и II — количество поврежденных стеблей на 1 хилл. Цифрами против кривых указано количество яйцекладок на 1 хилл, обнаруженных во время учета.

В качестве примеров пользования номограммой приведем следующие 2 случая.

На 20 ДПП в ходе проведения учета обнаружено 0.06 яйцекладки на 1 хилл. Восстанавливая перпендикуляр из точки 35 ДПП (через 15 дней после учета) до пересечения с кривыми I и II для 0.06 яйцекладок определя-

ем, что на 35 ДПП можно ожидать поражение минимум 0.98, а максимум — 1.41 стеблей на 1 хилл. Это означает, что на 35 ДПП степень поражения хиллов составит от 8.73 до 12.57 %. До окончания вегетативного периода естественный прирост составит 6.4 %. Он полностью не закроет повреждения к началу выметывания, но за счет отмирания стеблей в генеративный период все повреждения будут скрыты, а часть из них компенсирована новыми продуктивными органами.

При обнаружении того же количества яйцекладок на 45 ДПП (конец кущения) через 2 недели на 60 ДПП поврежденность составит минимум 0.93, а максимум 1.35 стеблей на 1 хилл, т. е. приблизительно тот же уровень, что и в предыдущем примере, однако в силу того, что уже произошло выметывание, а процесс прироста завершен и сменился процессом редукции стеблевого объема, степень повреждения продуктивных стеблей будет выше и составит 11.63—16.88 % белых метелок.

4. Влияние поврежденности стеблей на урожайность. Связь наносимых повреждений с продуктивностью изучалась по данным биологического урожая, а также по результатам экспериментов с маркированными хиллами, пораженными вредителем на разных стадиях вегетации. В ходе анализа определялось количество продуктивных стеблей, стеблей, поврежденных ЖСО, общая масса семян. Поскольку объем продуктивных стеблей и масса семян с 1 хилла являются в значительной степени варьирующими признаками, в качестве показателя продуктивности использовалась масса семян 1 продуктивного стебля. С помощью регрессионного анализа установлена зависимость между количеством пораженных стеблей в хилле (X) и средней массой семян от одной метелки такого хилла (Y) (рис. 6). В случае полного восстановления поврежденных хиллов можно было бы ожидать отсутствия отрицательной регрессионной зависимости, т. е. при этом коэффициент регрессии $b \geq 0$. Однако, как показано выше, на всех этапах развития хиллов вредоносная деятельность ЖСО связана с изменением продуктивности, несмотря на то что происходило нарастание новых и отмирание поврежденных стеблей. Вместе с тем следует отметить неодинаковый характер связи в зависимости от фазы развития растения. Наименьшие различия между хиллами, имевшими повреждения, и неповрежденными наблюдались в случае атаки ЖСО растений в начальной стадии фазы кущения ($b = -0.120$, рис. 6, А). Растения, поврежденные в конце кущения 43 ДПП, отличались меньшей восстановительной способностью, как это уже отмечалось, главным образом из-за образования непродуктивных стеблей. Этим, в частности, можно объяснить большее значение коэффициента регрессии ($b = -0.318$, рис. 6, Б). Атака ЖСО в начале генеративного периода всегда ведет к прямым потерям (рис. 6, В, Г).

Точки пересечения теоретических линий регрессии с осью ординат называют массу семян в хиллах при полном отсутствии поврежденных стеблей. Для использования установленных связей в практических целях необходимо выбрать процент допустимых потерь. Ранее были приняты 5%-ные и 7%-ные допустимые потери урожайности от данного вида вредителя. Тогда, например (рис. 6, А), для 20 ДПП 5%-ные и 7%-ные потери составят соответственно 0.082 и 0.115 г. Отложив указанные значения вниз от точки пересечения линии регрессии с осью ординат и восстановив перпендикуляр на ось абсцисс, можно видеть, что поврежденность стеблей в хиллах, при которой достигаются 5%-ные и 7%-ные потери, составят соответственно 0.66 и 0.92 стебля на 1 хилл. Для 43 ДПП эти значения составят соответственно 0.25 и 0.37 стеблей, а для 71 ДПП — 0.47 и 0.66 поврежденных стеблей на 1 хилл. Затем, пользуясь номограммой (рис. 5), можно определить, при каком количестве яйцекладок на 1 хилл может быть достигнута критическая поврежденность стеблей. Так, на 25 ДПП допустимая поврежденность до-

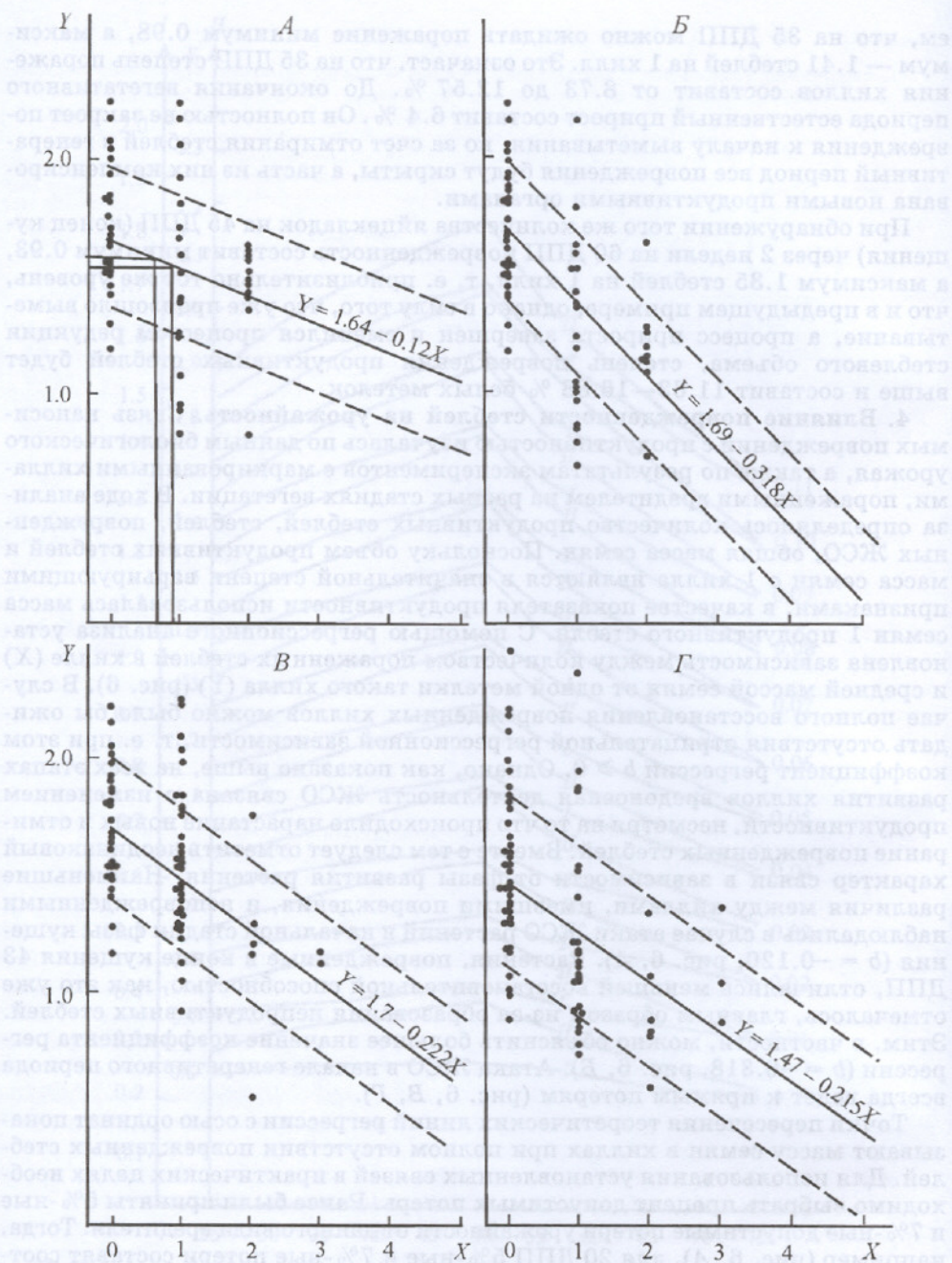


Рис. 6. Зависимость продуктивности (X) (масса семян на 1 продуктивный стебель) от количества стеблей в колосе, поврежденных ЖСО (Y).

А — 20 ДПП; Б — 43 ДПП; В, Г — 71 ДПП.

Границы (уровни) ДЭПВ ЛО для построения схемы МПСО

Возрастной класс недели	Середина возрастного класса (ДПП)	Количество зеленых листьев в хилле	Нижняя граница ДЭПВ (m_0 — особей ЛО на 1 хилл) и соответствующая ему степень поврежденности листьев (а, в %)		Верхняя граница ДЭПВ (m_1 — особей ЛО на 1 хилл) и соответствующая ему степень поврежденности листьев (а, в %)		Уровень компенсации (% новых листьев, появляющихся до генеративного периода)
			m_0	a_0	m_1	a_1	
X	X'	L_i					I
2	11	18—19	2.5	42.24	3.5	53.24	59.1—69.9
3	18	30—34	2.5	34.81	3.0	39.60	34.0—40.0
4	25	37—42	1.5	20.69	1.8	23.88	19.2—23.1
5	32	43—49	1.0	13.58	1.5	18.82	13.4—18.3
6	39	47—56	0.7	9.44	1.3	15.59	10.2—15.1
7*	46	51—61	0.6	9.33	0.8	11.75	—
8	53	54—65	0.4	8.70	0.6	11.93	—
9	60	57—54	0.25	8.27	0.4	11.60	—
10	67	39	0.15	8.57	0.25	11.84	—

Примечание. Звездочкой отмечено, что начиная с 43—49 ДПП прирост новых листьев фактически не происходит, поэтому при определении ДЭПВ учитывали, что поврежденность листьев в этот период не должна превышать 9—12 %, поскольку с этой величиной связаны допустимые потери продуктивности культуры.

стигается при численности яйцекладок от 0.04 до 0.06 на 1 хилл. Обращаясь к восстановительным процессам, происходящим в рисовых хиллах после атаки ЖСО, можно отметить, что на 20 ДПП повреждения, которые могут быть полностью скрыты за счет прироста новых стеблей, составляют 16 % стеблевого объема, что соответствует 1.6 стебля. По данным рис. 6 определяем, что такое поражение соответствует 11.7% -ным потерям продуктивности, которое в принципе лежит в пределах доверительных границ регрессии. Такие потери могут быть получены при обнаружении в этот период 0.08—0.11 яйцекладок на 1 хилл, что вполне согласуется с установленным ранее порогом (Reissig et al., 1985).

Таким образом, после рассмотрения и установления необходимых связей можно приступить к созданию схемы последовательного анализа численности популяций ЛО и ЖСО с целью принятия соответствующего решения о необходимости проведения управляющих оперативных мероприятий.

1. Схема МПСО повреждений и численности ЛО. Используя модель вредоносной деятельности ЛО, динамику нарастания и редукции листьев рисового хилла, а также уравнений, приводимых выше, проведен расчет границ (уровней) 2-уровневого экономического порога вредоносности (ДЭПВ) в зависимости от возраста растений, измеряемого в ДПП. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Отличительной чертой построения графической схемы МПСО, отображающей гипотезы о необходимости принятия или отвергания механизмов управления численности популяции вредителя, является то, что единицей образца является хилл. Количество хиллов откладывается по оси абсцисс, тогда как по оси ординат откладывается суммируемая численность обнаруженных гусениц, а не количество повреждений.

Используя ранее предложенный метод (Wald, 1965; Waters, 1955), проведен расчет членов уравнений для гипотез принятия или отвергания решения о необходимости защитных мероприятий. Результаты приведены в табл. 4.

Результаты расчетов, определяющих границы принятия или отвержения гипотез о необходимости проведения мероприятий, управляющих численностью ЛО в рисовой агроэкосистеме при $\alpha = \beta = 0.05$

Возрастной класс недели	Середина возрастного класса (ДПП)	Численность гусениц ЛО, определяющих нижнюю (m_0) и верхнюю (m_1) границы ДЭПВ (особей на 1 хилл)		Коэффициент регрессии	Свободный член уравнения регрессии для верхней (A_r) и нижней (A_L) границ		Необходимое количество образцов для завершения анализа	
		m_0	m_1		b	A_r	A_L	n_{\max}
2	11	2.5	3.5	2.97	+8.75	-8.75	16.68	14.92
3	18	2.5	3.0	2.74	+16.15	-16.15	59.96	56.43
4	25	1.5	1.8	1.65	+16.15	-16.15	99.93	94.04
5	32	1.0	1.5	1.23	+7.26	-7.26	28.03	24.49
6	39	0.7	1.3	0.97	+4.76	-4.76	15.90	12.94
7	46	0.6	0.8	0.69	+10.23	-10.23	96.74	87.91
8	53	0.4	0.6	0.49	+7.26	-7.26	70.08	61.23
9	60	0.25	0.4	0.32	+6.26	-6.26	81.54	69.73
10	67	0.15	0.25	0.195	+5.76	-5.76	113.36	95.65

Для удобства применения вышеприведенных расчетов на практике построены графические схемы для каждого возрастного интервала культуры (рис. 7). Если в ходе проводимого учета методом последовательного отбора и анализа образцов происходит пересечение верхней границы, следует применить прием управления численностью ЛО; в случае пересечения нижней границы принимается решение об отсутствии необходимости вмешательства в естественный процесс. До тех пор пока пересечения границы не произошло, следует продолжать отбор и анализ образцов.

2. Схема МПСО повреждений и численности ЖСО. Предлагаемый метод направлен на недопущение высоких уровней вредоносности ЖСО. Кроме того, он имеет определенное методологическое значение и может быть использован при аналогичных исследованиях. Как отмечалось, вероятная численность вредителя и будущих повреждений определяется количеством яйцекладок. Поскольку обнаружение яйцекладок является случайным явлением (Пуассоново распределение), то для установления истинной численности необходимо просмотреть значительное количество образцов, единицей которых могут служить как хиллы, так и стебли. Для определения примерного объема выборки целесообразно воспользоваться известной формулой

$$n = \frac{p^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2},$$

где p^2 — ожидаемая вероятность результата выборочного обследования, равная 2 при $P = 0.95$; σ^2 — средний квадрат, или дисперсия; Δ — точность, с которой определяется количество единиц образца.

Среднее квадратическое отклонение было определено в ходе исследования числа повреждений, наносимых гусеницами ЖСО, вышедшими из одной яйцекладки. В случае повреждений хиллов и стеблей дисперсии составляют соответственно 24.39 и 41.84. Точность определения числа поврежденных хиллов и стеблей равна 1. Тогда, если единицей образца является хилл, объем выборки определяется как

$$n = \frac{2^2 \cdot 24.39^2}{1^2} = 97.56 \text{ (100 хиллов),}$$

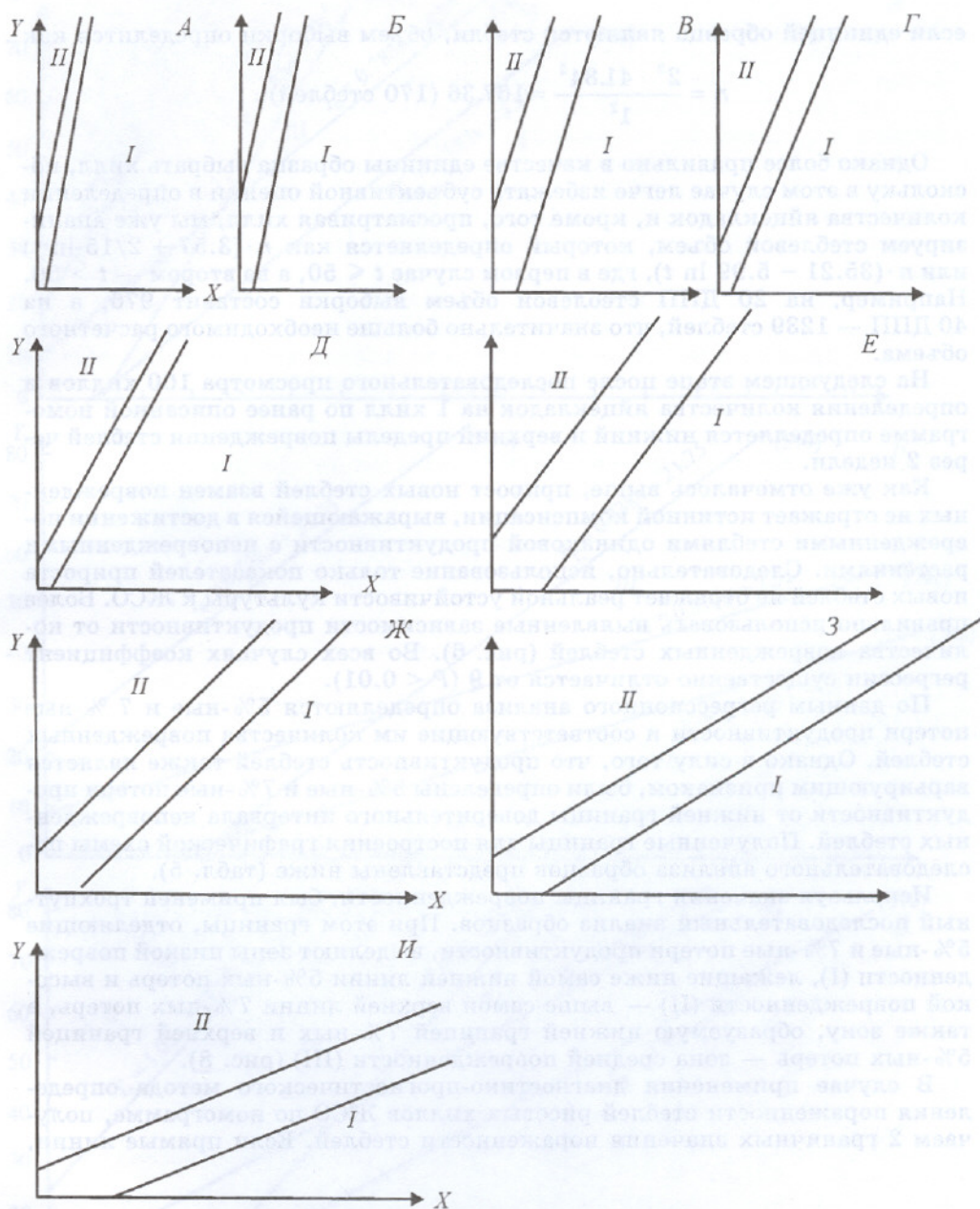


Рис. 7. Схемы для последовательного отбора и анализа образцов на поврежденность листьев ЛО.

По оси абсцисс (X) — количество просмотренных образцов; по оси ординат (Y) — суммируемое количество гусениц вредителя. I — зона низкой поврежденности, II — зона высокой поврежденности. Возрастные интервалы жизни растения, для которых применяются схемы: А — 8—14 ДПП, Б — 15—21 ДПП, В — 22—28 ДПП; Г — 29—35 ДПП, Д — 36—42 ДПП, Е — 43—49 ДПП, Ж — 50—56 ДПП, З — 57—63 ДПП, И — 64—70 ДПП.

если единицей образца являются стебли, объем выборки определится как

$$n = \frac{2^2 \cdot 41.84^2}{1^2} = 167.36 \text{ (170 стеблей).}$$

Однако более правильно в качестве единицы образца выбрать хилл, поскольку в этом случае легче избежать субъективной оценки в определении количества яйцекладок и, кроме того, просматривая хилл, мы уже анализируем стеблевой объем, который определяется как $n \cdot (3.57 + 2/15 \ln t)$ или $n \cdot (35.21 - 5.99 \ln t)$, где в первом случае $t \leq 50$, а во втором — $t > 50$. Например, на 20 ДПП стеблевой объем выборки составит 976, а на 40 ДПП — 1239 стеблей, что значительно больше необходимого расчетного объема.

На следующем этапе после последовательного просмотра 100 хиллов и определения количества яйцекладок на 1 хилл по ранее описанной номограмме определяется нижний и верхний пределы повреждения стеблей через 2 недели.

Как уже отмечалось выше, прирост новых стеблей взамен поврежденных не отражает истинной компенсации, выражающейся в достижении поврежденными стеблями одинаковой продуктивности с неповрежденными растениями. Следовательно, использование только показателей прироста новых стеблей не отражает реальной устойчивости культуры к ЖСО. Более правильно использовать выявленные зависимости продуктивности от количества поврежденных стеблей (рис. 6). Во всех случаях коэффициент регрессии существенно отличается от 9 ($P < 0.01$).

По данным регрессионного анализа определяются 5%-ные и 7%-ные потери продуктивности и соответствующие им количества поврежденных стеблей. Однако в силу того, что продуктивность стеблей также является варьирующим признаком, были определены 5%-ные и 7%-ные потери продуктивности от нижней границы доверительного интервала неповрежденных стеблей. Полученные границы для построения графической схемы последовательного анализа образцов представлены ниже (табл. 5).

Используя значения границы поврежденности, был применен трехпутный последовательный анализ образцов. При этом границы, отделяющие 5%-ные и 7%-ные потери продуктивности, выделяют зоны низкой поврежденности (I), лежащие ниже самой нижней линии 5%-ных потерь и высокой поврежденности (II) — выше самой верхней линии 7%-ных потерь, а также зону, образуемую нижней границей 7%-ных и верхней границей 5%-ных потерь — зона средней поврежденности (III) (рис. 8).

В случае применения диагностико-прогностического метода определения пораженности стеблей рисовых хиллов ЖСО по номограмме, получаем 2 граничных значения пораженности стеблей. Если прямые линии,

Таблица 5

Границы поврежденности стеблей ЖСО, при которых достигаются 5%-ные и 7%-ные допустимые потери урожайности

Возраст хилла с признаками повреждений (ДПП)	Верхние границы, при которых достигаются потери (поврежденных стеблей на 1 хилл)	Нижние границы, при которых достигаются потери (поврежденных стеблей на 1 хилл)
20—25 (начало кущения)	1.42—1.66	0.66—0.92
40—45 (конец кущения)	0.69—0.79	0.25—0.37
70—75 (выметывание—цветение)	0.99—1.12	0.47—0.66

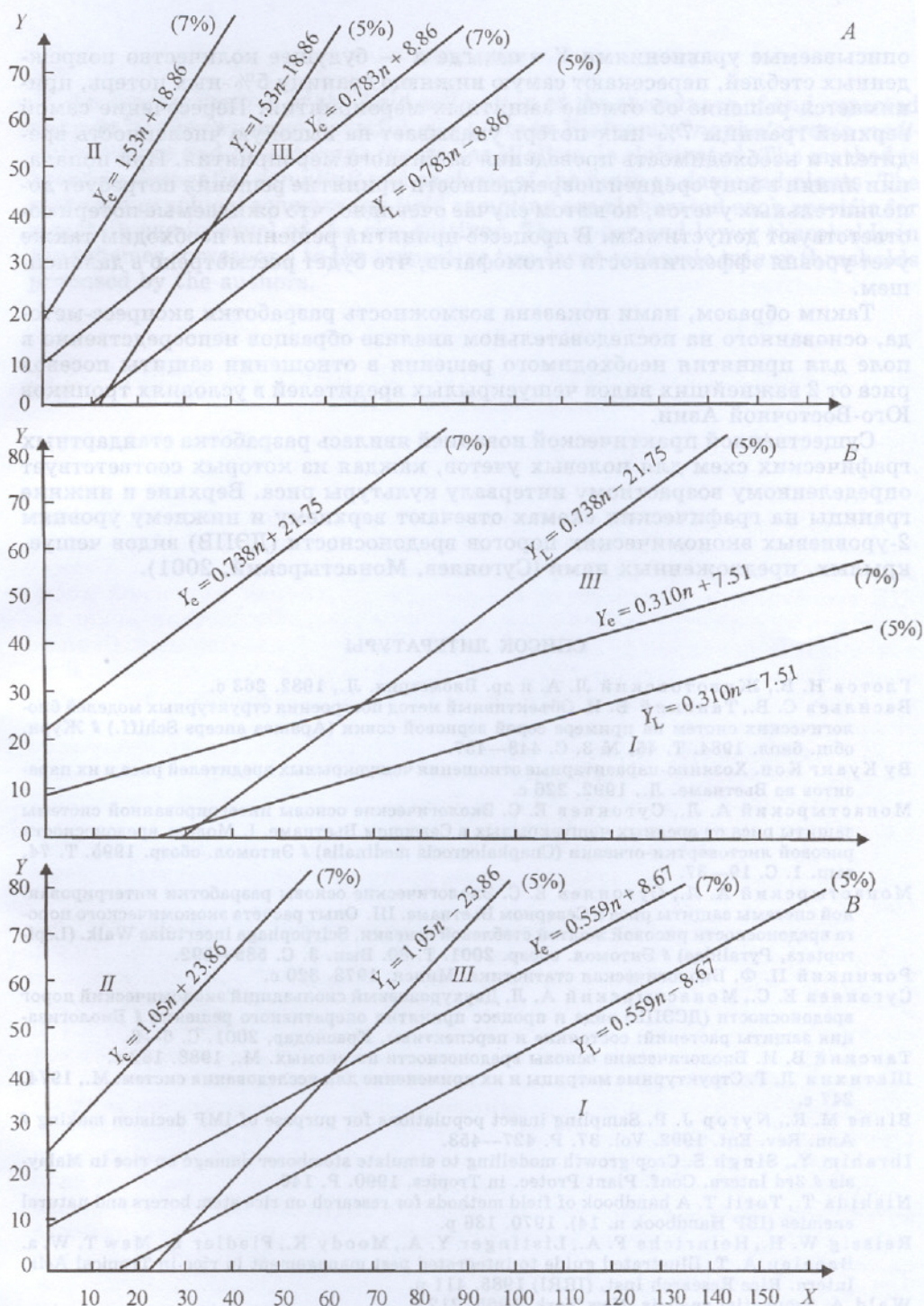


Рис. 8. Схемы для последовательного отбора и анализа образцов рисовых хиллов, поврежденных ЖСО.

По оси абсцисс (X) — количество анализируемых образцов; по оси ординат (Y) — суммируемое количество поврежденных стеблей, определенных по номограмме (рис. 5) либо в ходе прямого учета. I — зона низкой поврежденности; II — зона высокой поврежденности; III — зона средней поврежденности. Возрастные интервалы жизни риса, для которых приведены схемы: А — 20—25 ДПП, В — 40—45 ДПП, В — 70—75 ДПП.

описываемые уравнениями $Y = ax$, где a — будущее количество поврежденных стеблей, пересекают самую нижнюю границу 5%-ных потерь, принимается решение об отмене защитных мероприятий. Пересечение самой верхней границы 7%-ных потерь указывает на высокую численность вредителя и необходимость проведения защитного мероприятия. При попадании линии в зону средней поврежденности принятие решения потребует дополнительных учетов, но в этом случае очевидно, что ожидаемые потери соответствуют допустимым. В процессе принятия решения необходим также учет уровня эффективности энтомофагов, что будет рассмотрено в дальнейшем.

Таким образом, нами показана возможность разработки экспресс-метода, основанного на последовательном анализе образцов непосредственно в поле для принятия необходимого решения в отношении защиты посевов риса от 2 важнейших видов чешуекрылых вредителей в условиях тропиков Юго-Восточной Азии.

Существенной практической новацией явилась разработка стандартных графических схем для полевых учетов, каждая из которых соответствует определенному возрастному интервалу культуры риса. Верхние и нижние границы на графических схемах отвечают верхнему и нижнему уровням 2-уровневых экономических порогов вредоносности (ДЭПВ) видов чешуекрылых, предложенных нами (Сугоняев, Монастырский, 2001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глотов Н. В., Животовский Л. А. и др. Биометрия. Л., 1982. 263 с.
- Васильев С. В., Танский В. И. Объективный метод построения структурных моделей биологических систем на примере серой зерновой совки (*Aranea anceps* Schiff.) // Журн. общ. биол. 1984. Т. 45, № 3. С. 448—457.
- Ву Куанг Кон. Хозяино-паразитарные отношения чешуекрылых вредителей риса и их паразитов во Вьетнаме. Л., 1992. 226 с.
- Монастырский А. Л., Сугоняев Е. С. Экологические основы интегрированной системы защиты риса от вредных чешуекрылых в Северном Вьетнаме. I. Модель вредоносности рисовой листовёртки-огневки (*Spalocrocos medinalis*) // Энтومол. обзор. 1995. Т. 74, вып. 1. С. 19—37.
- Монастырский А. Л., Сугоняев Е. С. Экологические основы разработки интегрированной системы защиты риса в Северном Вьетнаме. III. Опыт расчета экономического порога вредоносности рисовой желтой стеблевой огневки, *Scirpophaga incertulas* Walk. (Lepidoptera, Pyralidae) // Энтومол. обзор. 2001. Т. 80. Вып. 3. С. 585—592.
- Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1973. 320 с.
- Сугоняев Е. С., Монастырский А. Л. Двухуровневый скользящий экономический порог вредоносности (ДСЭПВ) вида и процесс принятия оперативного решения // Биологизация защиты растений: состояние и перспективы. Краснодар, 2001. С. 6—8.
- Танский В. И. Биологические основы вредоносности насекомых. М., 1988. 182 с.
- Шатихин Л. Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем. М., 1974. 247 с.
- Binns M. R., Nyrop J. P. Sampling insect populations for purpose of IMP decision making // Ann. Rev. Ent. 1992. Vol. 37. P. 427—453.
- Ibrahim Y., Singh S. Crop growth modelling to simulate stemborer damage on rice in Malaysia // 3rd Intern. Conf. Plant Protec. in Tropics. 1990. P. 146.
- Nishida T., Torii T. A handbook of field methods for research on rice stem borers and natural enemies (IBP Handbook n. 14). 1970. 136 p.
- Reissig W. H., Heinrichs F. A., Listinger Y. A., Moody K., Fiedler L., Mew T. W. a. Baeeien A. T. Illustrated guide to integrated pest management in rice in Tropical Asia. Intern. Rice Research Inst. (IRRI) 1985. 411 p.
- Wald A. Sequential analysis. New York, 1965. 212 p.
- Waters W. Sequential sampling in forest insect survey // Forest Sci. 1955. Vol. 1. P. 68—79.

Российско-Вьетнамский научно-исследовательский
и технологический Тропический центр, Ханой;
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург.

Поступила 15 VI 2003.

SUMMARY

An express method of the field estimation of the abundance of and expected damage by the two most harmful rice pests in Vietnam, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée and *Scirpophaga incertulas* Walker, is elaborated. The method is based on sequential sampling and analysis of the pests or damaged plants. The standard graphical schemes for field sampling are elaborated each specific for a certain age interval of the rice cultivar. The upper and lower thresholds in the schemes correspond to the respective two-layer economic injury thresholds proposed by the authors.