

УДК [633.412+633.63]:632.488(476)

А. В. СВИРИДОВ

МЕТЕОПАТОЛОГИЧЕСКИЙ ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЦЕРКОСПОРОЗА СВЕКЛЫ

(Поступила в редакцию 04.06.12)

Рассчитана формула долгосрочного метеопатологического прогноза ($y = 191,5 + 40,5X$). Суммарный индекс включает 5 факторов: среднюю температуру воздуха за август и ноябрь прошлого года, сумму осадков за февраль, апрель и май текущего года. Коэффициент корреляции между суммарным индексом погоды и развитием заболевания составляет 0,926. Применение данной формулы позволит в начале июня с высокой вероятностью предсказать развитие церкоспороза свеклы и грамотно организовать защитные мероприятия.

We have calculated the formula of long-term meteo-pathological forecast ($y=191.5+40.5X$). Total index includes 5 factors: average temperature of air during August and November of the last year, and the sum of precipitation during February, April and May of the current year. The coefficient of correlation between the total index of weather and development of disease makes up 0.926. Application of the formula helps to forecast beet cercosporosis development in the beginning of June with high probability and organize right protection.

Введение

К наиболее вредоносным болезням свеклы в период вегетации относится церкоспороз, который вызывает несовершенный гриб *Cercospora beticola* Sacc. Он поражает сахарную, столовую, кормовую свеклу, осот, лебеду, щирицу, мальву, одуванчик, вьюнок и другие растения [3, с. 140]. Начиная с конца июля и в течение дальнейшего периода вегетации на листьях появляются мелкие пятна отмершей ткани диаметром до 5 мм пепельного цвета с красно-бурой каймой. В теплую влажную погоду на пятнах листа образуется едва заметный серый бархатистый налет конидиального спороношения, которым патоген распространяется от растения к растению. Пораженные листья преждевременно отмирают [6, с. 4]. В результате резко падает урожайность культуры. Пораженность листьев растения даже до 10 % вызывает снижение сбора сахара более чем на 5 ц/га. При этом снижается сахаристость и повышается содержание в ней вредного азота и натрия. Корнеплоды у больных растений более мелкие, хуже хранятся и дают меньший урожай семян [5, с. 210; 9, с. 216].

Зимует мицелий в отмерших листьях и черешках, оставшихся на поверхности почвы, а также в околоплодниках семенных клубочков. Источником инфекции могут быть корни маточной свеклы, другие пораженные растения (лебеда, щирица и др.) [5, с. 210].

Наиболее эффективным приемом защиты является применение фунгицидов. Обработку растений необходимо проводить при достижении порога вредоносности: до 5 августа – 5 % развития болезни; до 15 августа – 10–15 %; до 20 августа – более 15 % развития заболевания [1, с. 262; 8, с. 11; 9, с. 218; 10, с. 19]. Против данного заболевания рекомендовано проводить опрыскивания посевов фунгицидами: Амистар Экстра, СК, Скор, КЭ, Понезим, КС, Феразим, КС, Трайдекс, ВДГ, Абакус, СЭ, Титул 390, ККР, Эхион, КЭ, Бампер супер 490, КЭ, Гритоль Экстра, КЭ, Колосаль Про, КМЭ, Алиот, КЭ, Альто супер, КЭ, Алерт С, СЭ, Харизма, КЭ, Импакт, СК, Страйк, КС, Импакт эксклозив, КС, Мена-ра, КЭ, Рекс С, КС, Рекс Дуо, КС [Государственный реестр средств защиты растений, 2011].

Важно при этом заблаговременно предвидеть интенсивность развития болезни. Это позволит своевременно разработать стратегию и тактику защиты свеклы от церкоспороза. Н.А. Лукьянюк и др. [6, с. 5], Н. П. Вострухин [1, с. 258] обнаружили тесную корреляционную зависимость между среднесуточной температурой воздуха, количеством осадков и развитием *C. beticola*. Известно, что метеопатологический долгосрочный прогноз основан на установлении корреляционных зависимостей между степенью развития болезни и состоянием факторов окружающей среды. Он позволяет выявить фак-

торы, отражающие характер развития болезни, и использовать их количественные показатели для расчета прогностической формулы. В связи с этим целью исследований явилась разработка метеопатологического долгосрочного прогноза церкоспороза свеклы.

Методы исследований

Развитие церкоспороза столовой свеклы учитывали на сорте Прыгажуня на Гродненском сортоучастке с 2000 г. по 2011 г. по общепринятым в фитопатологии методам. Учеты заболевания проводили ежегодно в конце вегетации культуры, используя шкалу Шевченко [4, с. 186]. Метеоданные получены на климатическом мониторе метеостанции г. Гродно [http://pogoda.ru.net/monitor.php?id=268254]. Постановка метеопатологического долгосрочного прогноза рассчитывалась по методическим указаниям [7, с. 157].

Основная часть

Разработка долгосрочного прогноза церкоспороза свеклы включала следующие этапы: получение исходного материала о развитии заболевания и его обработке, вычисление частных коэффициентов корреляции и их средней ошибки, среднего квадратического отклонения фактора, частных и суммарных индексов и проверку их надежности, вычисление прогностической формулы и использование ее в составлении прогноза, проверку прогноза на ретроспективных данных.

Исходные данные о развитии церкоспороза столовой свеклы получены нами за 11 лет, начиная с 2000 г. по 2011 г. (табл. 1). Учеты заболевания в 2003 г. не были проведены по субъективным причинам. В связи с этим данные о развитии заболевания и факторы окружающей среды этого года мы не привлекали в расчеты при постановке долгосрочного прогноза. На первом этапе нами осуществлена математическая обработка многолетних однотипных данных о развитии заболевания по соответствующей форме.

Таблица 1. Математическая обработка исходных данных развития церкоспороза свеклы

Годы учета болезни (n)	Процент развития болезни (y)	Отклонение от среднего многолетнего (dy)	Квадраты отклонений от среднего многолетнего (d ² y)
2000	38,3	-0,80	0,64
2001	73,3	34,20	1169,64
2002	29	-10,10	102,01
2004	20	-19,10	364,81
2005	6,7	-32,40	1049,76
2006	49,3	10,20	104,04
2007	47	7,90	62,41
2008	23,5	-15,60	243,36
2009	48	8,90	79,21
2010	72	32,90	1082,41
2011	23	-16,10	259,21
Сумма (Σ)	430,10	-	4517,50
Среднее (M)	39,10	-	-

После обработки данных о развитии болезни мы приступили к вычислению частных коэффициентов корреляции между развитием церкоспороза и среднемесячной температурой, количеством осадков каждого месяца прошедшего и текущего года. Для примера, вычисление частного коэффициента корреляции между среднемесячной температурой августа прошлого года и развитием церкоспороза представлено в табл. 2.

Таблица 2. Установление связи между среднемесячной температурой августа прошлого года и развитием церкоспороза

Годы учета болезни n	Числовое значение фактора x	Отклонение от средней многолетней фактора dx	Квадраты отклонения от средней многолетней фактора d ² x	Отклонение от среднего многолетнего процента развития болезни dy	Произведения отклонений фактора на отклонения болезни (dx * dy)
2000	16,9	-0,97	0,95	-0,80	0,78
2001	16,8	-1,07	1,15	34,20	-36,69
2002	18,5	0,63	0,39	-10,10	-6,34
2004	17,7	-0,17	0,03	-19,10	3,30
2005	18,3	0,43	0,18	-32,40	-13,84
2006	16,9	-0,97	0,95	10,20	-9,92
2007	17,7	-0,17	0,03	7,90	-1,36
2008	18,7	0,83	0,68	-15,60	-12,91
2009	17,9	0,03	0,00	8,90	0,24
2010	17,1	-0,77	0,60	32,90	-25,42
2011	20,1	2,23	4,96	-16,10	-35,86
Сумма (Σ)	196,6	-	9,92	-	-138,02
Среднее (M)	17,87	-	-	-	-

Получив данные таблицы 2, вычисляем частный коэффициент корреляции (r) по формуле:

$$r = (\sum dx \times dy) + \sqrt{\sum d^2 x \times \sum d^2 y}.$$

В результате проведенных расчетов коэффициент корреляции составил -0,65.

О действительной или кажущейся зависимости судили по стандартному отклонению (m_r) коэффициента корреляции, который определили по формуле:

$$m_r = \mp(1 - r^2) + \sqrt{n}.$$

Для расчета необходимо принимать коэффициенты, которые превышают свою ошибку в два или три раза ($r > 2m_r$ или даже $r > 3m_r$). Из расчетов видно, что при $r = -0,65$ коэффициент превышает свою ошибку $-m_r = 0,17$. Поэтому среднемесячную температуру августа прошедшего года следует принять в расчет в дальнейших вычислениях.

Наиболее тесные коэффициенты корреляции были определены со следующими факторами (табл. 3, 4):

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между факторами погоды прошлого года и развитием церкоспороза

Показатели	Фактор погоды прошлого года					
	Температура, месяц			Осадки, месяц		
	08	10	11	07	09	12
Коэффициент корреляции (r)	-0,65	+0,20	+0,42	+0,17	-0,34	+0,32
Отклонение (m_r) коэффициента корреляции	0,17	0,29	0,25	0,29	0,27	0,27
Среднее квадратическое отклонение (σ)	1,00	1,77	1,58	48,76	35,75	14,34

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между факторами погоды текущего года и развитием церкоспороза

Показатели	Фактор погоды текущего года					
	Температура, месяц			Осадки, месяц		
	01	07	01	02	04	05
Коэффициент корреляции (r)	-0,34	+0,52	-0,36	-0,44	+0,51	-0,38
Отклонение (m_r) коэффициента корреляции	0,27	0,22	0,26	0,24	0,23	0,25
Среднее квадратическое отклонение (σ)	3,69	1,98	14,27	13,36	16,00	28,95

Факторы, тесно коррелирующие с развитием церкоспороза, использовали для вычисления средних квадратических отклонений по формуле:

$$S = \sqrt{(\sqrt{d^2 x}) + (n - 1)}.$$

Полученные значения средних квадратических отклонений представлены в таблицах 3 и 4. Эти данные были нами использованы в дальнейшем при вычислении частных индексов погоды, которые определяются по формуле:

$$e = x + \delta.$$

Следует помнить, что знак частного индекса погоды (e) зависит от знаков частного коэффициента корреляции и числового значения фактора. Если их знаки будут одинаковыми, то частный индекс будет положительным. При различных знаках у коэффициента корреляции и показателя фактора частный индекс будет отрицательным (табл. 5).

Таблица 5. Вычисление частных индексов погоды для выбранных факторов

Годы учета болезней	Средняя температура воздуха за август прошлого года $r_1 = -0,65$ $\sigma_1 = 1,00$		Средняя температура воздуха за ноябрь прошлого года $r_2 = +0,42$ $\sigma_2 = 1,58$		Сумма осадков за февраль текущего года $r_3 = -0,44$ $\sigma_3 = 13,36$		Сумма осадков за апрель текущего года $r_4 = +0,51$ $\sigma_4 = 16,00$		Сумма осадков за май текущего года $r_5 = -0,38$ $\sigma_5 = 28,95$	
	числовое выражение фактора (x_1)	частный индекс погоды (e_1)	числовое выражение фактора (x_2)	частный индекс погоды (e_2)	числовое выражение фактора (x_3)	частный индекс погоды (e_3)	числовое выражение фактора (x_4)	частный индекс погоды (e_4)	числовое выражение фактора (x_5)	частный индекс погоды (e_5)
2000	16,9	-16,90	0,3	0,19	38,3	-2,87	44,5	2,78	19,0	-0,66
2001	16,8	-16,80	5,1	3,23	16,0	-1,20	33,0	2,06	34,0	-1,17
2002	18,5	-18,50	1,8	1,14	58,0	-4,34	15,0	0,94	16,0	-0,55
2004	17,7	-17,70	3,8	2,41	55,0	-4,12	24,0	1,50	40,0	-1,38
2005	18,3	-18,30	2	1,27	32,0	-2,40	3,0	0,19	111,0	-3,83
2006	16,9	-16,90	2,1	1,33	33,0	-2,47	23,0	1,44	36,0	-1,24
2007	17,7	-17,70	4,1	2,59	31,0	-2,32	19,0	1,19	54,0	-1,87
2008	18,7	-18,70	0,4	0,25	16,0	-1,20	38,0	2,38	89,0	-3,07
2009	17,9	-17,90	3,2	2,03	27,0	-2,02	11,0	0,69	43,0	-1,49
2010	17,1	-17,10	3,5	2,22	28,0	-2,10	59,0	3,69	68,0	-2,35
2011	20,1	-20,10	4,3	2,72	36,0	-2,69	30,0	1,88	61,0	-2,11

Вышеуказанные изменения в знаках частных индексов сделаны потому, что в качестве суммарного индекса (X) используется алгебраическая сумма частных индексов ($\sum e$).

Поиск комплекса факторов, связывающих погоду с развитием церкоспороза, позволил найти суммарный индекс погоды, состоящий из пяти элементов – средняя температура августа и ноября прошлого года и осадки февраля, апреля и мая текущего года.

Вычисление суммарного индекса факторов проводили по формуле:

$$x = \sum e + k,$$

где k – количество используемых для вычисления суммарного индекса погоды факторов.

Таблица 6. Вычисление суммарного индекса погоды

Годы учета болезни	Частные индексы (e)					Сумма частных индексов	Суммарный индекс
	1	2	3	4	5		
2000	-16,90	0,19	-2,87	2,78	-0,66	-17,45	-3,49
2001	-16,80	3,23	-1,20	2,06	-1,17	-13,88	-2,78
2002	-18,50	1,14	-4,34	0,94	-0,55	-21,32	-4,26
2004	-17,70	2,41	-4,12	1,50	-1,38	-19,29	-3,86
2005	-18,30	1,27	-2,40	0,19	-3,83	-23,08	-4,62
2006	-16,90	1,33	-2,47	1,44	-1,24	-17,85	-3,57
2007	-17,70	2,59	-2,32	1,19	-1,87	-18,10	-3,62
2008	-18,70	0,25	-1,20	2,38	-3,07	-20,34	-4,07
2009	-17,90	2,03	-2,02	0,69	-1,49	-18,69	-3,74
2010	-17,10	2,22	-2,10	3,69	-2,35	-15,64	-3,13
2011	-20,10	2,72	-2,69	1,88	-2,11	-20,31	-4,06

Суммарный индекс является объединяющим показателем влияния отдельных факторов погоды предшествующего периода на развитие церкоспороза. Нами проведены предварительная обработка данных по суммарному индексу (табл. 7) и расчет коэффициента корреляции между суммарным индексом и развитием заболевания по вышеуказанной формуле.

Таблица 7. Вычисление коэффициента корреляции между суммарным индексом и развитием церкоспороза

Годы учета болезни	Суммарный индекс погоды	Отклонение от среднего многолетнего суммарного индекса	Квадраты отклонения от среднего многолетнего суммарного индекса	Отклонение от среднего многолетнего процента развития болезни	Произведения отклонений суммарного индекса на отклонения развития болезни
n	X	dX	d²X	dy	(dX*dy)
2000	-3,49	0,26	0,07	-0,80	-0,20
2001	-2,78	0,97	0,93	34,20	33,02
2002	-4,26	-0,51	0,26	-10,10	5,20
2004	-3,86	-0,11	0,01	-19,10	2,19
2005	-4,62	-0,87	0,76	-32,40	28,34
2006	-3,57	0,18	0,03	10,20	1,79
2007	-3,62	0,13	0,02	7,90	0,99
2008	-4,07	-0,32	0,11	-15,60	5,06
2009	-3,74	0,01	0,00	8,90	0,05
2010	-3,13	0,62	0,38	32,90	20,25
2011	-4,06	-0,31	0,10	-16,10	5,06
Сумма (Σ)	-41,20		2,67		101,74
Среднее (M)	-3,75				

Выявлен высокий коэффициент, который равен 0,926. Полученный нами показатель указывает на достоверную связь между отобранными пятью факторами погоды и развитием церкоспороза свеклы.

Таким образом, мы получили надежный суммарный индекс, что позволяет нам приступить к вычислению величин, характеризующих количественную изменчивость показателя развития церкоспороза свеклы в зависимости от рассчитанного нами индекса.

Нами проведен расчет уравнения линий регрессии для постановки долгосрочного прогноза:

$$y = a + bX,$$

где y – ожидаемое развитие церкоспороза; a и b – постоянные уравнения; X – суммарный индекс.

Значение постоянных уравнения устанавливается на основе многолетних данных (табл. 8).

Таблица 8. Обработка исходных данных о развитии болезни в связи с суммарным индексом

Год учета болезни	Суммарный индекс	Квадраты суммарного индекса	Фактическое развитие болезни	Произведение суммарного индекса на проявление болезни
n	X	X ²	y	(X*y)
2000	-3,49	12,18	38,3	-133,67
2001	-2,78	7,73	73,3	-203,77
2002	-4,26	18,15	29	-123,54
2004	-3,86	14,90	20	-77,20
2005	-4,62	21,34	6,7	-30,95
2006	-3,57	14,06	49,3	-184,88
2007	-3,62	13,10	47	-170,14
2008	-4,07	16,56	23,5	-95,65
2009	-3,74	13,99	48	-179,52
2010	-3,13	9,80	72	-225,36
2011	-4,06	16,48	23	-93,38
Сумма (Σ)	-41,20	158,30	430,10	-1518,06

Их вычисления можно произвести по способу наименьших квадратов, используя сопряженные вспомогательные уравнения:

$$\sum y = an + b \sum X,$$

$$\sum Xy = a \sum X + b \sum X^2.$$

В результате проведенных расчетов выявлено, что постоянные уравнения получили следующие показатели: $a = 191,5$; $b = 40,5$.

Следовательно, уравнение регрессии приобрело следующий вид:

$$y = 191,5 + 40,5X,$$

где X – суммарный индекс погоды.

Используя данную формулу, мы можем в начале июня спрогнозировать развитие церкоспороза свеклы с отклонением от 2,1 до 15,2 % от фактического развития заболевания (табл. 9).

Таблица 9. Сравнение (по годам) фактического развития церкоспороза со значениями, полученными в результате расчетов

Год учета болезни	Суммарный индекс погоды (X)	Развитие церкоспороза, %		Отклонение (%)
		фактически	по прогнозу	
2000	-3,49	38,3	50,1	+11,8
2001	-2,78	73,3	79,1	+5,8
2002	-4,26	29,0	18,8	-10,2
2004	-3,86	20,0	35,2	+15,2
2005	-4,62	6,7	4,6	-2,1
2006	-3,57	49,3	46,9	-2,4
2007	-3,62	47,0	44,9	-2,1
2008	-4,07	23,5	26,7	+3,2
2009	-3,74	48,0	40,1	-7,9
2010	-3,13	72,0	64,8	-7,2
2011	-4,06	23,0	27,0	+4,0

Закключение

Таким образом, нами рассчитана формула долгосрочного метеопатологического прогноза ($y = 191,5 + 40,5X$). Суммарный индекс включает 5 факторов: среднюю температуру воздуха за август и ноябрь прошлого года, сумму осадков за февраль, апрель и май текущего года. Коэффициент корреляции между суммарным индексом погоды и развитием заболевания составляет 0,926. Применение данной формулы позволит в начале июня с высокой степенью вероятности предсказать развитие церкоспороза свеклы и грамотно организовать защитные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вострухин, Н. П. Сахарная свекла / Н. П. Вострухин. – Минск: МФЦП, 2011 – 384 с.
2. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: Бизнесофсет, 2011. – 543 с.
3. Доброзракова, Т. Л. Сельскохозяйственная фитопатология / Т. Л. Доброзракова; под ред. М. К. Хохрякова. – Л.: Колос (Ленинградское отделение), 1974. – 328 с.
4. Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации / Нац. акад. Наук Респ. Беларусь; Институт защиты растений НАН Беларуси; под ред. С. В. Сороки. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 462 с.
5. Краснюк, Н. А. Современные технологии производства и использования сахарной свеклы / Н. А. Краснюк. – Минск, 2010. – 502 с.

6. Рекомендации по контролю церкоспороза в посевах сахарной свеклы / Н. А. Лукьянюк [и др.] – Несвиж: Несвижская укрупненная типография им. С. Будного, 2011. – 18 с.
7. Степанов, К. М. Прогноз болезней сельскохозяйственных растений / К. М. Степанов, А. Е. Чумаков. – Л.: Колос, 1972. – 271 с.
8. Татур, И. С. Технология возделывания сахарной свеклы / И. С. Татур [и др.]. – Несвиж: Несвижская укрупненная типография им. С. Будного, 2011. – 29 с.
9. Шпаар, Д. Сахарная свекла (Выращивание, уборка, хранение) / Д. Шпаар [и др.]; под общей редакцией Д. Шпаара. – Минск: ЧУП «Орех», 2004. – 326 с.
10. Gummert, A., Ladewig, E., Lukashyk, P., Meriander, B. Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes im Zuckerrubenanbau. IfZ Gottingen, 2011. – 39s.