

РОСТ РАСТЕНИЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В работе анализируется численный расчет скорости развития подсолнечника в зависимости от факторов света, тепла, влаги. Предложенный расчет скорости развития может быть использован для прогнозов наступления фенологических фаз развития сельскохозяйственных культур, а ток же может быть использован в расчетах оси биологического времени в динамических моделях продукционного процесса растений.

Ключевые слова: *биологическое время, рост, развитие, фотосинтез, дыхание, продукционный процесс растений.*

Введение. Настоящая работа является непосредственным продолжением работы «Рост растений и биологическое время» [1]. **Целью** данной работы является подтверждение разработанного метода расчета скорости развития сельскохозяйственных культур. Здесь рассматривается расчет фаз цветения и созревания растений как центральных фаз развития. При этом остальные фазы развития можно задать непосредственными численными значениями оси биологического времени. **К задачам** работы следует отнести проверку в расчетах влияния факторов тепла, влаги, света на скорость развития.

Материалы и методы исследования. Скорость развития растений при различных сочетаниях факторов внешней среды не остается постоянной. Введение биологической оси времени T предполагает это непостоянство скорости развития. Биологическая ось времени для всего онтогенеза может быть численно равной различным относительным значениям. Однако, целесообразно принять всю биологическую ось времени T численно равной одной единице. Это значение соответствует одному периоду онтогенеза. Мы будем рассматривать период от всходов до созревания, где начальное значение на момент всходов будет постулироваться одной и той же величиной T_0 . При этом, в данной работе, исследуется культура подсолнечника.

В работе [1] предложен метод расчета наступления фаз цветения и созревания растений:

$$T^{j+1} = T_0 + \Delta T_{ontm} \cdot I^j \cdot \psi^j \cdot \gamma^j, \quad T_0 \leq T \leq 0.5 \quad (1)$$

$$T^{j+1} = T^j + \Delta T_{ontm} \cdot \frac{1}{I^j \cdot \psi^j \cdot \gamma^j}, \quad 0.5 \leq T \leq 1.0 \quad (2)$$

где T – биологическое время, изменяется от 0 до 1 в течении всего онтогенеза, отн. ед.;

T_0 – начальное значение оси биологического времени, соответствующее фазе «всходы», отн. ед.;

ΔT_{ontm} - константа, максимальная скорость развития, отн. ед. биол. времени·сут⁻¹;

I – нормированная световая кривая фотосинтеза культуры, отн. ед.;

ψ – нормированная температурная кривая фотосинтеза культуры, отн. ед.;

γ – нормированная влажностная кривая фотосинтеза культуры, отн. ед.;

j – номер расчетных суток.

Фаза цветения, в этом методе, совпадает с кардинальной точкой оси биологического времени T . Так, в момент $T=0.5$ наблюдается перегиб логистической кривой роста. Таким образом, стратегии протекания процессов фотосинтеза и дыхания меняются, на прямо противоположные. В организме растения происходит переход системы отсчета биологического времени от материнского организма к вновь зародившимся зародышам семян, то есть можно говорить о физиологическом процессе смены системы отсчета биологического времени. Эти процессы позволяют совместить кардинальную точку $T=0.5$ с моментом цветения.

Фаза созревания в предложенной оси биологического времени совпадает со значениями выхода фотосинтеза и расходов на дыхание, когда эти процессы прекращаются. Тем самым, рост останавливается, и одновременно, заканчиваются процессы налива зерна. В дальнейшем происходит техническое созревание, а увеличение веса зерна заканчивается. Поэтому созревание отождествляется с точкой $T=1.0$.

Для проверки предложенного метода использовались материалы наблюдений сети агрометеорологических станций, расположенных на территории Одесской, Николаевской и Херсонской областей. Следует отметить, что на территории Одесской области использовались материалы наблюдений 7-8 станций, на территории Николаевской области 3-4 станций, на территории Херсонской области 2-3 станций.

Результаты исследований и их анализ. Расчет скорости развития, точнее скорость наступления фаз цветения и созревания, осуществлялся по уравнениям (1) и (2). Эти уравнения являются неразрывными и представляют собой одну систему уравнений для всего периода онтогенеза. В этой системе уравнений присутствует важнейший параметр ΔT_{omn} , характеризующий максимальную скорость развития данной культуры. Параметр ΔT_{omn} представляет собой отношение приращения биологического времени за одни сутки роста и развития культуры. Таким образом, уравнения (1) и (2) при расчете представляют собой накапливающуюся сумму численных значений оси биологического времени. Параметр ΔT_{omn} для культуры подсолнечника, без подразделения на сорта, численно равен: для Одесской области $\Delta T_{omn}=0.0189$ отн. ед. биол. времени·сут⁻¹; для Николаевской области $\Delta T_{omn}=0.0210$ отн. ед. биол. времени·сут⁻¹; Для Херсонской области $\Delta T_{omn}=0.0210$ отн. ед. биол. времени·сут⁻¹. Как видно из представленных численных значений параметра ΔT_{omn} , он несколько отличается по областям. Это отличие обеспечивается различным набором сортов для каждой области, а так же немаловажное значение имеет почвенно-климатические условия выращивания подсолнечника для каждой области.

Световая, температурная и влажностная кривые процесса фотосинтеза подсолнечника на уровне организма растения, в нормированном виде, представлены в работе [2] и имеют вид:

$$I^J = \left\{ e^{c_0} - e^{B \cdot J_{opt} \cdot J_s^J + c_0} \right\}, \quad (3)$$

$$\psi^J = \left\{ 1 - a_t \cdot t_{opt}^2 \left(t_s^J - 1 \right)^2 \right\}, \quad (4)$$

$$\gamma^J = \left\{ 1 - a_w \cdot w_{opt}^2 \left(w_s^J - 1 \right)^2 \right\}, \quad (5)$$

где B – параметр изгиба экспоненциальной световой кривой фотосинтеза, $\text{м}^2 \cdot \text{Вт}^{-1}$; a_t , a_w – параметры квадратных уравнений температурной и влажностной кривой фотосинтеза. При этом, среди параметров модели присутствуют физиологически обоснованные, оптимальные значения факторов внешней среды для подсолнечника: FAR_{opt} , t_{opt} , w_{opt} :

$$J_s^j = \frac{FAR^j}{FAR_{opt}} ; \quad t_s^j = \frac{t_{дек.}^j}{t_{opt}} ; \quad w_s^j = \frac{w_{0-100}^j}{w_{opt}} , \quad (6)$$

где J_s , t_s , w_s – соответственно нормированные значения ФАР, температуры воздуха, влажности почвы слоя 0-100 см, выраженные в долях от единицы; FAR_{opt} , t_{opt} , w_{opt} – оптимальные значения ФАР, температуры воздуха и запасов продуктивной влаги метрового слоя почвы для подсолнечника; FAR , $t_{дек.}$, w_{0-100} – текущие значения ФАР, температуры воздуха, влажности почвы слоя 0-100 см.

Расчет ФАР внутри посева осуществляется по уравнению:

$$FAR^j = \frac{J_0^j}{1 + 0.5LL^j} , \quad (7)$$

где J_0 – интенсивность ФАР на верхней границе посева, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; LL – площадь листовых пластинок посева подсолнечника, $\text{м}^2_{\text{л.пл.}} \cdot \text{м}^{-2}_{\text{почвы}}$; FAR – фотосинтетически активная радиация внутри посева, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; j – номер суток расчетного периода.

Световая кривая процесса фотосинтеза подсолнечника представляет собой экспоненту, полученную, в результате экспериментальных наблюдений за фотосинтезом австралийскими исследователями English и др. Температурная кривая процесса фотосинтеза подсолнечника получена в результате экспериментальных наблюдений японским исследователем Т.Ногие, и представляет собой одновершинную кривую с максимумом при оптимальной температуре для фотосинтеза. Влажностная кривая процесса фотосинтеза предложена А.Н. Полевым, и проверена в различных расчетах в динамических моделях продукционного процесса растений. Влажностная кривая имеет одновершинный вид с максимумом при оптимальной влажности корнеобитаемого слоя почвы для фотосинтеза.

Начальное значение оси биологического времени, соответствующее фазе «всходы», равно: $T_0 = 0.01$ отн. ед. биол. времени.

Результаты расчета фенофаз для трех областей представлены в табл.1,2,3. Как видно из представленных данных в результате расчета фенофаз наиболее точно фазы цветения и созревания рассчитаны для условий Одесской области. В этой области сеть агрометеорологических станций наиболее густая. Это обстоятельство позволило получить точность расчета фенофаз в пределах 5-7 % в среднем. В то же время из табл. 1 видно, что только лишь расчетная дата фазы «созревания» в 1992 и 1998 годах выходит за пределы 15 – процентного барьера. В остальные годы точность расчетов не превышает 5-7 %. Отклонения в расчетах достаточно плотно лежат в пределах 5-7 – процентного барьера.

При анализе полученных данных необходимо так же учитывать то обстоятельство, что точность определения фаз развития сельскохозяйственных культур, наблюдаемых на агрометеорологических станциях, согласно «Наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам», составляет 2 суток.

Таблица 1 - Результаты расчета фаз развития подсолнечника для условий Одесской области

№ п/п	Год	Фазы развития										
		Всходы	Цветение					Созревание				
		Факти- ческие данные	Фактические данные		Расчетные данные			Фактические данные		Расчетные Данные		
			Дата	Дата	Чис- ло дней от всхо- дов	Число дней от всхо- дов	Отклоне- ние в днях от факти- ческой даты	Отклоне- ние в % от факти- ческой даты	Дата	Число дней от всхо- дов	Число дней от всхо- дов	Отклоне- ние в днях от факти- ческой даты
1	1992	12.05	21.07	70	72	+2	2.86	13.08	93	109	+16	17.20
2	1993	14.05	20.07	67	63	-4	5.97	23.08	101	100	-1	0.99
3	1994	14.05	11.07	58	67	+9	15.52	22.08	100	103	+3	3.00
4	1995	11.05	12.07	62	61	-1	1.61	23.08	104	105	+1	0.96
5	1996	11.05	8.07	58	59	+1	1.72	18.08	99	93	-6	6.06
6	1997	18.05	15.07	58	61	+3	5.17	22.08	96	107	+11	11.46
7	1998	4.05	8.07	65	63	-2	3.08	9.08	97	113	+16	16.49
8	1999	10.05	13.07	64	62	-2	3.13	15.08	97	96	-1	1.03
	Среднее	-----	-----	63	63	+0.75	4.88	-----	98	103	+4.87	7.15

Таблица 2 - Результаты расчета фаз развития подсолнечника для условий Николаевской области

№ п/п	Год	Фазы развития										
		Всходы	Цветение					Созревание				
		Факти- ческие данные	Фактические данные		Расчетные данные			Фактические данные		Расчетные Данные		
			Дата	Дата	Чис- ло дней от всхо- дов	Число дней от всхо- дов	Отклонение в днях от факти- ческой даты	Отклонение в % от факти- ческой даты	Дата	Чис- ло дней от всхо- дов	Число дней от всхо- дов	Отклонение в днях от факти- ческой даты
1	1992	18.05	18.07	61	61	0	0	21.08	95	88	-7	7.37
2	1993	25.05	17.07	53	56	+3	5.66	24.08	91	99	+8	8.79
3	1994	22.05	20.07	59	58	-1	1.69	20.08	90	87	-3	3.33
4	1995	29.05	17.07	50	52	+2	4.00	20.08	84	87	+3	3.57
5	1996	22.05	17.07	56	63	+7	12.50	24.08	94	88	-6	6.38
6	1997	18.05	14.07	57	55	-2	3.51	23.08	97	97	0	0.00
7	1998	11.05	14.07	64	56	-8	12.50	20.08	101	95	-6	5.94
8	1999	27.05	23.07	57	55	-2	3.51	29.08	94	95	+1	1.06
	среднее	-----	-----	57	57	-0.125	5.42	-----	93	92	-1.250	4.55

Таблица 3 - Результаты расчета фаз развития подсолнечника для условий Херсонской области

№ п/п	Год	Фазы развития										
		Всходы	Цветение					Созревание				
		Фактические данные	Фактические данные		Расчетные данные			Фактические данные		Расчетные Данные		
Дата	Дата	Число дней от всхо- дов	Число дней от всхо- дов	Отклоне- ние в днях от факти- ческой даты	Отклоне- ние в % от факти- ческой даты	Дата	Число дней от всходов	Число дней от всхо- дов	Отклоне- ние в днях от факти- ческой даты	Отклоне- ние в % от факти- ческой даты		
1	1993	14.05	12.07	59	71	+12	20.34	13.08	91	87	-4	4.40
2	1994	10.05	10.07	61	61	0	0	4.08	86	86	0	0.00
3	1995	19.05	10.07	52	63	+11	21.15	6.08	79	92	+13	16.46
4	1996	14.05	8.07	55	64	+9	16.36	5.08	83	89	+6	7.23
5	1997	22.05	15.07	54	61	+7	12.96	14.08	84	93	+9	10.71
6	1998	18.05	15.07	58	60	+2	3.45	12.08	86	87	+1	1.16
7	1999	5.05	6.07	62	61	-1	1.61	3.08	90	92	+2	2.22
	Среднее	-----	-----	57	63	+5.71	10.84	-----	86	89	+3.86	6.03

Следует отметить, что все данные для расчета фенофаз были получены методом осреднения по соответствующей области. Это касается как дат наступления фенофаз, так и всех необходимых данных для расчета. Прежде всего, это данные числа часов солнечного сияния, температура воздуха и влажность почвы корнеобитаемого слоя. Конечно, наиболее пестро по территории области распространяется запасы продуктивной влаги в почве. На наш взгляд, это обстоятельство добавляет отклонения в точности расчетов.

Полученный расчет дат цветения и созревания по данным Николаевской области, табл. 2, позволяет сделать вывод о том, что точность расчета достаточно высокая, и не превышает 7-8 %. Только лишь в 1996 и 1998 году, (фаза «цветение»), точность расчетов составляет чуть более 12%. В то же время во всех случаях точность расчета фаз «цветение» и «созревание» по данным Николаевской области не превышает 15 – процентного барьера.

Полученные расчетные данные фенофаз по Херсонской области показывают, что фаза «созревание» рассчитана точнее, чем фаза «цветение». Здесь точность расчетов наиболее слабая. Это вызвано тем, что сеть агрометеорологических станций на территории Херсонской области достаточно редкая.

Выводы. 1. Основным фактом данной работы можно считать подтверждение предложенного метода расчета фенологических фаз развития. 2. Точность расчета фаз развития в основном не превышает 15-процентного барьера и в среднем составляет 7 %. 3. Наиболее точно расчет фаз развития согласно предложенному методу осуществляется при наиболее густом расположении агрометеорологической сети станций.

Список литературы

1. *Наумов М.М.* Рост растений и биологическое время. // Вісник Одеського державного екологічного університету, 2005, Вип. 1, С.72-78.
2. *Наумов М.М.* Прогноз урожайности семян подсолнечника на основе математической модели продукционного процесса. В кн.: Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища – 2002. Доповіді до ювілейної міжнародної конференції. 2003, Ч. 1, -С.264-270.

Зростання рослин і біологічний час. Результати розрахунків. Наумов М.М.

В роботі аналізується чисельний розрахунок швидкості розвитку соняшнику залежно від чинників світла, тепла, вологи. Запропонований розрахунок швидкості розвитку може бути використаний для прогнозів настання фенологічних фаз розвитку сільськогосподарських культур, а також може бути використаний в розрахунках осі біологічного часу в динамічних моделях продукційного процесу рослин.

Ключові слова: біологічний час, зростання, розвиток, фотосинтез, дихання, продукційний процес рослин.

Growth of plants and biological time. Results of computations. Naumov M.M.

Numerical computation of sunflower development rate subject to the factors of light, warmth and moisture is given analysis in the paper. The suggested computation of the development rate could be used at making prognoses for onset of phenological phases of development of crops, and currently can be used at computations of biological time axis in dynamic models for productional process of plants.

Keywords: biological time, growth, development, photosynthesis, respiration, productional process of plants.