

УДК – (633.853.494) (519.237.4)
DOI: 10.15587/2313-8416.2016.71575

МОДЕЛЬ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ ФЕНОЛОГІЇ РОСЛИН НА ПРИКЛАДІ РІПАКУ ЯРОГО

© Ю. В. Хмелянчишин

Наведено приклад дисперсійного аналізу фенології розвитку рослин ріпаку ярого в умовах Поділля (середнє Придністров'я; географічні координати – широта – 48°40', довгота – 26°35') Південно-західного Лісостепу України. Актуальність теми в тому, що в силу своєї специфіки, результати фенологічних досліджень (спостережень) математично не обробляються в силу своїх особливостей. Заповнення цього пробілу є метою запропонованої статті

Ключові слова: *вегетація, фенологія, фаза росту, ріпак ярий, дисперсійний аналіз, статистичний критерій*

An example of analysis of variance of phenology development of spring rape plants in the conditions of Podolia (middle Transnistria; geographical coordinates are latitude – 48°40', longitude 26°35') of South West forest-steppe of Ukraine is given. The topicality of the topic is that because of their nature, the results of phenological research (observations) aren't mathematically processed in virtue of its features. Filling this gap is the aim of the proposed article

Keywords: *vegetation, phenology, phase of growth, spring rape, analysis of variance, statistical test*

1. Вступ

Останнім часом математична статистика набуває все більшого застосування у біологічних дослідженнях.

Основними задачами математичної статистики є статистична перевірка гіпотез, оцінка розподілу статистичних ймовірностей та їх параметрів, вивчення статистичної залежності, визначення основних числових характеристик випадкових вибірок. Вона допомагає оцінити результати експерименту, підвищує надійність висновків, дає підстави для теоретичних узагальнень. Одне з провідних місць у ній належить дисперсійному аналізу. Як правило, дисперсійним аналізом дослідники опрацьовують урожайні дані, тоді як біометричні, а ще рідше – фенологічні, невірливо випускаються з поля зору. Причиною цього, на наш погляд, є відсутність механізму трансформації календарних дат в доступний для аналізу числовий формат.

2. Огляд літератури

Статистична обробка масиву даних, отриманих в результаті фенологічних спостережень за сезонним розвитком рослин, пов'язана з необхідністю переведення календарної дати в який-небудь кількісний показник, тобто в числовий. Підходів до вирішення цього питання існує багато, зокрема, може виступати, наприклад, порядковий номер календарної дати при відліку від першого числа певного місяця. Воно може

бути як фіксованим – 1 березня [1], або 1 січня, як у зарубіжних вчених [2], так і нефіксованим – перше число місяця настання конкретної фенологічної фази [3]. До нефіксованого числа зводиться також запропонований Н. Ніловим [4] метод заміни календарної дати числом місяця реєстрації фенофази, а також пропозиція А. Н. Купріянова [5] з використанням довільного, досить великого, числа в якості нульового відліку кожного місяця, в якому відбувається дана фенофаза.

М. Н. Лазарева вважає, що «подібний підхід не відображає біологічної суті процесів» і логічно було б «висловлювати фенодату через число календарних днів з дати стійкого переходу середньодобових температур через +0 °С, або біологічний мінімум тепла для розглянутої фенофази» [6].

Кожен з цих підходів має свої позитивні і негативні сторони та заслуговує на увагу дослідників. У будь-якому випадку безперервна послідовність календарних дат переводиться в безперервний ряд цілих чисел, де кожній даті приписано строго встановлене перевідне число, зафіксоване в спеціально складеній для цієї мети таблиці перекладу.

Спробу впорядкувати фенологічні дати і провести їх статистичну обробку зробив В. Івлєв [7]. На основі порівняльного аналізу ним розроблено новий підхід до математичної обробки даних фенологічних спостережень, що полягає у відмові від використання у формулах похідних параметрів варіаційного ряду се-

редньої арифметичної. Тим самим усувається неоднозначність інтерпретації обробленого масиву фенодат у вигляді перевірених чисел стосовно різних дат відліку.

Ним наведено змінні формули похідних параметрів варіаційного ряду з застосуванням стандартного відхилення в якості незалежної від обраної дати відліку величини.

Не дивлячись на велику кількість спроб вирішити цю проблему, опрацювати фенологічні дати дисперсійним аналізом, на жаль, не вдалося нікому.

3. Мета дослідження

Розробка механізму трансформації календарних дат в доступний для аналізу числовий формат, що дало б змогу уможливити опрацювання дисперсійним аналізом фенологічних дат.

4. Приклад опрацювання дисперсійним аналізом фенологічних даних ріпаку ярого

Від проростання до утворення нового насіння в рослині відбуваються певні зовнішні зміни (сходи, ріст стебла, утворення органів плодоношення тощо), які називаються фазами розвитку; спостереження за ними і є суть фенології.

Фенологічні спостереження дають можливість визначати зміни, які проходять в розвитку рослин, і на їх підставі встановлюють строки сівби, догляду за посівами і збирання врожаю.

На основі фенологічних спостережень встановлюють тривалість різних фаз розвитку, а також тривалість вегетаційного періоду як однієї з основних господарсько-біологічної характеристик сільськогосподарських культур.

При наявності середніх багаторічних даних фенологічних спостережень визначають відхилення в розвитку рослин, залежно від природно-кліматичних умов, що, по своїй суті, є показником їх екологічної пристосованості.

Для прийняття технологічних рішень щодо ріпаку ярого достатньо враховувати 9 фенофаз – сходи, розетка, стеблуння, бутонізація, цвітіння, плодоутворення, молочна стиглість насіння, воскова стиглість насіння і повна стиглість насіння. Для наукових досліджень коло їх значно розширено рекомендаціями директивного документа UPOV TG/36, 1996 р. [8]. Зокрема для рослин *Brassica napus Oleifera L.* (ріпак) вегетаційний період розбитий на 33 фенофази (табл. 1).

Таблиця 1

Коди стадій росту і розвитку рослин ріпаку ярого

№	Код	Опис	X	№	Код	Опис
1	0	Проростання	X	22	50	Формування бутонів
2	00	Сухе насіння	X	23	51	Кінцеві бутони утворились, але не піднімаються вище листків
3	10	Ріст проростків	X	24	53	Кінцеві бутони піднімаються над рівнем листків
4	11	Поява сім'ядолей	X	25	57	Видовження черешків
5	13	Розвиток сім'ядолей	X	26	59	Пожовтіння бутонів
6	15	Фаза 1 листка	X	27	60	Цвітіння
7	17	Фаза 2 листка	X	28	61	Розкриття першого бутона на кінцевому суцвітті
8	19	Фаза 3 листка	X	29	62	Декілька бутонів розкрито на кінцевому суцвітті
9	20	Розетка	X	30	64	Повне цвітіння, нижні стручки подовжуються
10	21	Фаза 4 листка	X	31	65	Нижні стручки починають наливатися, менше 5 % бутонів ще не розкрились
11	22	Фаза 5 листка	X	32	67	Насіння в нижніх стручках збільшується, всі бутони розкриті
12	23	Фаза 6 листка	X	33	70	Стручок
13	24	Фаза 7 листка	X	34	71	Насіння в нижніх стручках повністю сформувалось
14	25	Фаза 8 листка	X	35	75	Насіння в нижніх стручках зелене, матове
15	26	Фаза 9-11 листків	X	36	79	Все насіння стручків кінцевого суцвіття темне
16	27	12 и більше повністю розвинутих листків	X	37	80	Стиглість
17	30	Подовження стебла	X	38	81	На насіннях в нижніх стручках кінцевого суцвіття спостерігаються коричневі зони
18	31	Відстань між сім'ядолями і точкою росту більше 5 см	X	39	85	На насіннях верхніх стручків спостерігаються коричневі зони
19	35	Відстань між сім'ядолями і точкою росту більше 15 см	X	40	89	Стручки коричневі і ламкі, стебло сухе
20	39	Відстань між сім'ядолями і точкою росту більше 25 см		Всього 40 позицій, в т.ч. 33 фенофази		

При проведенні фенологічних спостережень слід дотримуватися ряду обов'язкових правил:

1. Для виключення критичної суб'єктивності спостереження повинна вести одна людина в одні й ті ж години доби.

2. Оглядати посів необхідно експозиційно, оскільки фаза може наступати в одних місцях посіву і затримуватися в інших.

3. При сумніві в настанні тієї чи іншої фази необхідно розрахувати відсоток рослин, що в неї вступили, переглядаючи у трьох рендомісцях посіву по 15–20 поруч ростучих рослин.

Частково виконавши рекомендації UPOV TG/36, 1985 р. (за чисельністю фенофаз) та повно – вищевикладені методвказівки, нами досліджено фенологію ріпаку ярого (табл. 2).

Таблиця 2

Фенологія рослин сортів ріпаку ярого за різних способів сівби і норм добрив

Варіанти			Сходи	Розетка	Стеблуння	Бутонізація	Цвітіння	Перший стручок	Стиглість		
Удобрення	Спосіб сівби	Сорт							Молочна	Воскова	Повна
N ₀₀ P ₀₀ K ₀₀	15	М	15.04	05.05	17.05	26.05	10.06	20.06	08.07	20.07	27.07
		Л	15.04	08.05	22.05	03.06	18.06	30.06	16.07	28.07	03.08
	45	М	15.04	07.05	19.05	31.05	16.06	26.06	14.07	26.07	01.08
		Л	15.04	10.05	24.05	07.05	23.06	04.07	20.07	31.07	07.08
N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	15	М	15.04	07.05	18.05	31.05	16.06	26.06	15.07	28.07	03.08
		Л	15.04	09.05	21.05	03.06	19.06	01.07	19.07	01.08	08.08
	45	М	15.04	09.05	21.05	03.06	20.06	30.06	18.07	30.07	05.08
		Л	15.04	09.05	23.05	06.06	24.06	05.07	25.07	08.08	14.08

Примітка: М – Микитинецький; Л – Лужок

В умовах Поділля при ранньовесняній сівбі (фізична стиглість ґрунту) сходи ріпаку ярого з'являються в кінці першої-початку другої половини квітня, розетка – 5–10 травня, стеблуння – 17–24 травня, бутонізація – 26 травня–7 червня; цвітіння – 10–24 червня, перший стручок – 20 червня–5 липня, молочна стиглість насіння – 8–25 липня, воскова – 20 липня–8 серпня і повна – 27 липня–14 серпня.

Адитивна тривалість вегетації рослин становить 102–120 діб; зі структурою: «сходи-бутонізація» – 42,4 %, «бутонізація-цвітіння» – 14,2 %, «цвітіння-молочна стиглість насіння» – 26,3 %, «молочна-повна стиглість насіння» – 17,1 %.

Інформативні можливості (табл. 2) забезпечують наступні узагальнення впливу факторів: «А» – «добриво», «В» – «спосіб сівби», «С» – «сорт».

Добриво в нормі N₈₀P₆₀K₈₀ подовжило вегетацію рослин на 6 діб, в т. ч. за рахунок післясходового періоду до бутонізації (дві доби); від бутонізації до цвітіння – на одну; цвітіння до стиглості насіння – на три. Зміни в тривалості реєстрованих фаз розвитку не позначилися на фенологічній структурі.

Середня тривалість вегетації рослин ріпаку суцільної сівби становила 109 діб; широкоярядної – 113. Структура міжфазних періодів мала вигляд: «сходи-бутонізація» – 41,4–43,4 %, «бутонізація-цвітіння» – 14,6–15,0 %, «цвітіння-молочна стиглість насіння» – 26,7–24,8 %, «молочна-повна стиглість насіння» – 17,4–16,8 %.

Тривалість вегетаційних періодів рослин сортів ріпаку коливалася в межах 102–120 діб. Більш коротка вегетація у Микитинецького суцільної сівби на неудобреному фоні та більш тривала – у варіанта з

Лужком широкоярядної сівби на удобреному фоні. У структурі вегетаційного періоду «сходи-бутонізація» – 41,4–43,7 %, «бутонізація-цвітіння» – 14,2–14,6 %, «цвітіння-стиглість насіння» – 46,8–41,1 %.

Головним недоліком інформації, що міститься в табл. 2 – повна відсутність математико-статистичних критеріїв оцінки висновків (узагальнень), зроблених вище.

Виправити таке становище і тим самим фенологію ввести в русло дійсних наукових досліджень можна тільки за рахунок широкого використання математичних методів і насамперед дисперсійного аналізу. Однак для цього дати обліку необхідно перетворити на числа прийнятні для математичних розрахунків.

Для надання фенологічним датам придатного для математики формату запропоновано два перетворення. Перше – переклад натуральних календарних дат в числову послідовність року, тим самим фенологічні дати звільнити від комплексності. Друге – перетворення пов'язане з наданням числовому масиву зручної для роботи спрощеності.

Перетворення фенологічних дат у календарні зручно здійснити за допомогою таблиці [9] і після цього спростити за формулою: $X' = Xi/X1$ (табл. 3).

Приклад першого перетворення: сходи з'явилися 15 квітня, тобто на 106 календарний день, розетка – 5 травня – 125-й день і т. д.

Приклад другого перетворення:

$$106/106=1,0; 125/106=1,18;$$

$$137/106=1,37 \dots 208/106=1,96.$$

Таблиця 3

Фенологія рослин ріпаку ярого перетворена в календарні дати

Варіанти			Фенофази						Стиглість		
Удобрення	Спосіб сівби	Сорт	Сходи	Розетка	Стеблуння	Бутонізація	Цвітіння	Перший стручок	Молочна	Воскова	Повна
N ₀₀ P ₀₀ K ₀₀	15	M	106	125	137	146	161	171	189	201	208
		A	106	128	142	154	169	181	197	209	215
	45	M	106	127	139	151	167	177	195	207	213
		A	106	130	143	158	174	185	201	212	219
N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	15	M	106	127	138	151	167	177	196	209	215
		A	106	129	141	154	170	182	200	213	220
	45	M	106	129	141	154	171	181	199	211	217
		A	106	129	143	157	175	186	206	220	226
Відносні дати, перетворені по формулі: $X' = X_i / X_1$											
N ₀₀ P ₀₀ K ₀₀	15	M	1	1,18	1,29	1,38	1,52	1,61	1,78	1,90	1,96
		A	1	1,21	1,34	1,45	1,59	1,71	1,86	1,97	2,03
	45	M	1	1,20	1,31	1,42	1,58	1,67	1,84	1,95	2,01
		A	1	1,23	1,35	1,49	1,64	1,75	1,90	2,00	2,07
N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	15	M	1	1,20	1,30	1,42	1,58	1,67	1,85	1,97	2,03
		A	1	1,22	1,33	1,45	1,60	1,70	1,89	2,01	2,08
	45	M	1	1,22	1,35	1,45	1,61	1,71	1,88	1,99	2,05
		A	1	1,22	1,35	1,48	1,65	1,75	1,94	2,08	2,13

5. Результати досліджень

Перетворивши фенологічні дати в спрощені календарні, тим самим позбавивши їх елемента суб'єктивності, можна успішно виконати дисперсійний аналіз в калькуляторному або комп'ютерному

режимах при цьому замість повторностей використати фенологічні фази, що методично допустимо в дослідках без повторностей [9–11].

Базові параметри дисперсійного аналізу та статистичні критерії оцінки представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Статистичні параметри оцінки фенологічних спостережень

Статистичні параметри		Види розсіювань					
		Cy	Cff	CA	Cv	Cc	Cz
Компоненти формули дисперсії	$\sum(X - \bar{O})^2$	8,39	8,28	0,02	0,02	0,04	0,03
	n-1	71	8	1	1	1	56
	$\sum(X - \bar{O})^2 / n-1$	0,12	1,04	0,02	0,02	0,04	0,00054
\bar{O}	1	1,58		1,56	1,56	1,55	
	2			1,59	1,59	1,60	
Статистичні критерії оцінки	/d/			0,03	0,03	0,05	
	НІР ₀₅			0,01	0,01	0,01	
	H ₀ : d=0			d≠0	d≠0	d≠0	
	Дух			0,01		0,99	
	V, %			21,8			
	Sx, %			0,47			

Примітка: парні і потрібна взаємодії факторів не представлені у таблиці, оскільки істотність їх впливу не підтвердилася

Аналізуючи дані табл. 4, в першу чергу, слід відзначити високу точність експерименту – 0,47 %, що пов'язано з чітким дотриманням методичних вимог проведення обліку.

Об'єктивність сказаного підтверджується і високим рівнем коефіцієнта детермінації (Дух) – 99 %, який відноситься до дисперсії залишку (Дух), що в даному випадку безпосередньо пов'язано з професіоналізмом проведення дослідів.

При коментуванні результатів дисперсійного аналізу важливо визначитися у смислового значенні числових показників і встановити ступінь логічної ідентичності між натуральними (табл. 2) і перетвореними (табл. 3) датами.

Натуральні дати – це фіксований час вступу рослини в ту або іншу стадію розвитку, наприклад – у Лужка суцільного посіву стеблуння настало 22 травня. Перетворивши цю дату, маємо вже справу

з віковою категорією, яка інформує, що стеблуння у рослини відбулося на 36 добу (142–106) його вегетаційного життя. Таким чином, один і той же факт має різне звучання і не більше. Тому отримані при дисперсійному аналізі статистичні параметри оцінки легітимні для розглянутих варіантів. Момент цей важливий для правомочності використання значення НР для статистичної оцінки фенологічних дат натурального вигляду.

Оцінка варіантних відмінностей за параметром НР₀₅ підтверджує їх статистичну достовірність, без винятків, як між факторіальними градаціями, так і в їх середовищі, так як у всіх розглянутих випадках нульова гіпотеза ($H_0: d=0$) виявилася невідповідною ($d \neq 0$).

6. Висновки

1. Для надання фенологічним датам придатного для математики формату необхідні перетворення. Перше – переклад натуральних календарних дат в числову послідовність року, тим самим звільнення їх комплексності і друге – пов'язане з доданням числового масиву зручною для роботи спрощеності (у нашому випадку за формулою $X' = X_i / X_1$).

2. Подібні переформатування натуральних календарних дат легітимізує можливість дисперсійного аналізу в калькуляторному або комп'ютерному режимі, при цьому замість повторення використовуються фенологічні фази, що методично допустимо в досліді без повторення.

Література

1. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике [Текст] / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
2. Spano, D. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators [Text] / D. Spano, C. Cesaraccio, P. Duce, R. L. Snyder // International Journal of Biometeorology. – 1999. – Vol. 42, Issue 3. – P. 124–133. doi: 10.1007/s004840050095
3. Методы феномониторинга [Текст]: учеб.-метод. комп. – Екатеринбург: Урал. гос. универ., ИОНЦ «Экология и природопользование», 2008. – 180 с.
4. Нилов, В. Н. К методике статистической обработки материалов фенологических наблюдений [Текст] / В. Н. Нилов // Ботанический журнал. – 1980. – Т. 65, № 2. – С. 282–283.
5. Куприянов, А. Н. Основы интродукции растений: Учебное пособие [Текст] / А. Н. Куприянов. – Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 1999. – 80 с.
6. Лазарева, С. М. Использование методик обработки данных фенологических наблюдений (на примере представителей семейства Pinaceae Lindl.) [Текст] / С. М. Лазарева // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 56–65.
7. Ивлев, В. И. О статистической обработке фенологических дат в ботанических исследованиях [Текст] / В. И. Ивлев // Известия Национальной академии Респуб-

лики Казахстан. Серия биологическая и медицинская. – 2014. – № 1. – С. 44–48.

8. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability [Electronic resource]. – Geneva, 1996. – Available at: <http://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg036.pdf>

9. Коновалов, Ю. Б. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур [Текст] / Ю. Б. Коновалов, А. Н. Березкин, Л. И. Долгодворова и др.; под ред. Ю. Б. Коновалова. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 71.

10. Калінін, М. І. Біометрія: Підручник для студентів вузів біологічних і екологічних напрямків [Текст] / М. І. Калінін, В. В. Єлісєєв; В.о. Нац. ун-т "Києво-Могилянська академія". Миколаїв. Філія. – Миколаїв: МФ НАУК-МА, 2000. – 204 с.

11. Фишер, Р. А. Статистические методы для исследователей [Текст] / Р. А. Фишер. – М.: Просвещение, 1958. – 268 с.

References

1. Zaytsev, H. N. (1984). Matematycheskaya statystyka v eksperimental'noy botanyke [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 424.
2. Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., Snyder, R. L. (1999). Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. International Journal of Biometeorology, 42 (3), 124–133. doi: 10.1007/s004840050095
3. Metodu fenomonitorynha [Methods phenological monitoring] (2008). Ekaterinburg: Ural state University, IONS, "Ecology and nature management", 180.
4. Nylov, V. N. (1980). K metodyke statystycheskoy obrabotky materialov fenolohycheskykh nablyudeny [To the methods of statistical o the methods of statistical processing of materials of phenological observations]. Botanical journal, 65 (2), 282–283.
5. Kupriyanov, A. N. (1999). Osnovu yntroduktsyy rasteny [Fundamentals of plant introduction]. Barnaul: Publishing house of Altai state University, 80.
6. Lazareva, S. M. (2011). Yspol'zovanye metodyk obrabotky dannukh fenolohycheskykh nablyudeny (na primere predstaviteley semeystva Pinaceae Lindl.) [The use of data processing methods phenological observations (for example, representatives of family Pinaceae Lindl.). Izvestiya Irkutsk state University. Series "Biology. Ecology", 4 (2), 56–65.
7. Yvlev, V. Y. (2014). O statystycheskoy obrabotke fenolohycheskykh dat v botanycheskykh yssledovanyakh [About aggregating phenological dates in Botanical research]. Proceedings of the National Academy of the Republic of Kazakhstan. Series biological and medical, 1, 44–48.
8. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability (1996). Geneva. Available at: <http://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg036.pdf>
9. Konovalov, Y. B., Berezkin, A. N., Dolgodvorova, L. Y. et. al; Konovalov, Ju. B. (Ed.) (1987). Praktikum po selektsyy y semenovodstvu polevukh kul'tur [Workshop on breeding and seed production of field crops]. Moscow: Agropromizdat, 71.
10. Kalinin, M. I., Eliseev, V. V. (2000). Biometriya: Pidruchnyk dlya studentiv vuziv biolohichnykh i ekolohichnykh napryamkiv [Biometrics: a Textbook for students of biological and ecological areas]. Nikolaev: MF Kyiv-Mohyla Academy, 204.
11. Fysher, R. A. (1958). Statystycheskye metody dlya yssledovateley [Statistical methods for research workers]. Moscow: Education, 268.

*Рекомендовано до публікації д-р с.-г. наук, професор Бахмат М. І.
Дата надходження рукопису 14.05.2016*

Хмелянчишин Юрій Володимирович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, кафедра рослинництва, селекції та насінництва, Подільський державний аграрно-технічний університет, вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Україна, 32300
E-mail: 334320@i.ua