

(Жезказганский ботанический сад – филиал Института ботаники и фитоинтродукции КН МОН РК,
Жезказган, Республика Казахстан)

О СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ДАТ В БОТАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Аннотация. На основе сравнительного анализа показан новый подход к математической обработке данных фенологических наблюдений, заключающийся в отказе от использования в формулах производных параметров вариационного ряда средней арифметической варианта. Тем самым устраняется неоднозначность интерпретации обработанного массива фенодат в виде переводных чисел относительно разных дат отсчета. Приведены измененные формулы производных параметров вариационного ряда с применением стандартного отклонения в качестве не зависящей от выбранной даты отсчета величины.

Ключевые слова: фенологические даты, статистическая обработка, производные параметры.

Тірек сөздер: фенологиялық күнтізбелік күндер, статистикалық өндөу, туынды параметрлер.

Keywords: phenological dates, statistical treatment, derivative parameters.

Статистическая обработка массива данных, полученных в результате многолетних фенологических наблюдений за сезонным развитием растений, сопряжена с необходимостью перевода календарной даты в какой-нибудь количественный показатель, то есть некоторое переводное число. В качестве последнего может выступать, например, порядковый номер календарной даты при отсчете от первого числа определенного месяца. Оно может быть как фиксированным – 1 марта [1], как принято у большинства ботаников СНГ, или 1 января, как у западноевропейских и североамериканских ученых [2, 3], так и нефиксированным – первое число месяца наступления конкретной фенологической фазы [4]. К нефиксированному числу сводятся, также, предложенный В. Н. Ниловым [5] метод замены календарной даты числом месяца регистрации фенофазы, а также подход А. Н. Куприянова [6] с использованием произвольного, достаточно большого, числа в качестве нулевого отсчета каждого месяца, в котором происходит данная фенофаза. Существенным преимуществом методов с нефиксированной точкой отсчета является устранение при одинаковом или близком разбросе варианта неадекватно большой разницы в значениях коэффициента вариации, неизбежно возникающей в отношении фенологических фаз, отстоящих на разном удалении от фиксированной даты отсчета. Однако полностью этот прием проблему не снимает.

По мнению М. Н Лазаревой [7], «подобный подход не отражает биологической сути процессов» и логично было бы «выражать фенодату через число календарных дней с даты устойчивого перехода среднесуточных температур через +0 °C или биологический минимум тепла для рассматриваемой фенофазы». С этим можно согласиться, но только по отношению к тому весьма маловероятному событию, когда дата весеннего перехода среднесуточной температуры через нулевой рубеж, как, впрочем, и для других биологических минимумов тепла, на протяжении всего периода наблюдений выпадает на одно и то же число месяца. В противном случае статистическая обработка исходного массива данных становится невозможной, так как применением предлагаемой процедуры вся совокупность полученных дат по некоторой фенологической фазе неслучайным образом разбивается на несколько независимых множеств, каждое со своей собственной системой отсчета, и количество которых равно числу календарных дат, скажем, перехода среднесуточных температур через нулевой порог. В любом случае непрерывная последовательность календарных дат переводится в непрерывный ряд целых чисел, где каждой дате приписано строго установленное переводное число, зафиксированное в специально составленной для этой цели таблице перевода.

Подробную процедуру вычисления параметров вариационного ряда на примере дат зацветания ольхи кустарниковой путем обработки их в виде переводных чисел при отсчете от 1 марта можно найти в книге Г. Н. Зайцева [1], посвященной математической статистике в экспериментальной ботанике.

В нижеследующей таблице данные по фенологии из указанного источника (графа 5 таблицы) представлены в сравнении с некоторыми другими точками отсчета: от 1 января 1900 г. (графа 3), как это происходит при компьютерной обработке в формате Дата, а также в пределах условного года (365 дней) – графы 4, 6, 7 и 8.

Каждой фенологической дате, как это можно понять из таблицы, соответствует бесчисленное множество переводных чисел как положительных, так и неположительных, если точка отсчета приходится на более поздний срок относительно самой ранней даты наступления фенологической фазы (графа 8). С этим связан один довольно досадный казус, о котором было вскользь упомянуто в начале. Так как среднее арифметическое переводных чисел M изменяется вместе с выбором точки отсчета, то есть является величиной переменной, то производные от M параметры вариационного ряда: критерий Стьюдента t_M , а также коэффициент вариации v и точность опыта P вместе с их ошибками m_v и m_P тоже являются непостоянными. Это приводит к неоднозначной и даже противоречивой характеристике обработанного массива данных.

Из таблицы видно, что даже достоверность самой средней M претерпевает радикальное изменение от вполне достоверной ($t_M > 3$, графы 3-7) до недостоверной (графа 8). Нечто подобное происходит и с другими параметрами. Значения коэффициента вариации v попадают в разные классы вариабельности по Г. Н. Зайцеву [1], а показатель точности опыта изменяется от удовлетворительных ($P \leq 5\%$) до неудовлетворительных величин. В то же время такие параметры, как стандартное отклонение σ , его ошибка m_σ и ошибка средней m_M остаются инвариантными относительно даты отсчета.

Результаты обработки дат зацветания ольхи кустарниковой

X_N	Даты зап цветания	То же в переводных числах при отсчете дней от					
		1 января 1900 г. (для мая 2010 г.)	1 января	1 марта	1 мая	4 мая	14 мая
1	2	3	4	5	6	7	8
X_1	04.май	40302	125	65	4	1	-9
X_2	06.май	40304	127	67	6	3	-7
X_3	08.май	40306	129	69	8	5	-5
X_4	09.май	40307	130	70	9	6	-4
X_5	10.май	40308	131	71	10	7	-3
X_6	11.май	40309	132	72	11	8	-2
X_7	11.май	40309	132	72	11	8	-2
X_8	12.май	40310	133	73	12	9	-1
X_9	12.май	40310	133	73	12	9	-1
X_{10}	17.май	40315	138	78	17	14	4
X_{11}	20.май	40318	141	81	20	17	7
X_{12}	24.май	40322	145	85	24	21	11
X_{13}	25.май	40323	146	86	25	22	12
X_{14}	26.май	40324	147	87	26	23	13
M	14.май	40311,9	134,9	74,9	13,9	10,9	0,9
m_M		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
σ		7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
m_σ		1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
t_M	$= M/m_M$	20902,5	70,0	38,9	7,2	5,7	0,5
v	$= 100\sigma/M$	0,0	5,3	9,6	51,8	66,0	777,1
m_v		0,0	1,0	1,8	12,1	17,1	1620,7
P	$= 100m_M/M$	0,0	1,4	2,6	13,8	17,6	207,7
m_P		0,0	0,3	0,5	3,2	4,6	433,1

Столь обескураживающее поведение M вместе с ее производными заставляет искать альтернативу этому параметру в виде константной величины, и такая возможность существует.

Показать это можно, рассмотрев функцию $v = 100 \sigma/M$, значениями которой являются, в частности, коэффициенты вариации анализируемой выше таблицы. Графиком данной функции служит гипербола, и в силу ее непрерывности на интервале от 0 до бесконечности на ней обязательно найдется точка, в которой $v = M$ (вершина гиперболы).

Замена в вышеприведенной формуле v на M и решение получившегося уравнения дают $M = 10\sqrt{\sigma}$. После подстановки данного значения в соответствующие формулы из таблицы производные параметры вариационного ряда принимают следующий, уже не зависящий от M , искомый вид:

$$t_M = \frac{10\sqrt{\sigma}}{m_M}; \quad v = 10\sqrt{\sigma} \% ; \quad P = \frac{10m_M}{\sqrt{\sigma}} \% .$$

При этом вид формул, по которым вычисляются ошибки m_v и m_P , можно оставить без изменения.

Для конкретно рассматриваемого примера статистической обработки дат зацветания согласно вышеуказанным новым формулам получается $t_M = 13,9$ с $v = 26,9\%$; $m_v = 5,4\%$, $P = 7,2\%$, $m_P = 1,5\%$. Таким образом, роль средней переводных чисел сводится к отысканию средней фенологической даты и стандартного отклонения.

В порядке разъяснения важно подчеркнуть, что использование этих формул оправдано только для статистической совокупности, в которой варианты могут быть представлены относительными, то есть как положительными, так и отрицательными числами в зависимости от положения относительно нулевой точки отсчета. С этой точки зрения переводные числа фенодат являются относительными. Другой пример – показания термометра. Так, похожая на вышеописанную проблема возникает при обработке результатов измерения температуры. Перевод данных из градусов Цельсия в температурную шкалу Кельвина или наоборот не сказывается на величине среднего квадратического (стандартного) отклонения, но существенно влияет на другие, уже указанные выше, параметры. Поэтому и в данном случае, чтобы исключить такое влияние, можно воспользоваться тремя выше представленными формулами.

Другое дело, если некоторой величине нельзя приписать отрицательного значения, как-то: количество объектов, расстояние, площадь, продолжительность фенологической фазы и т. п., то традиционные формулы для производных параметров остаются в силе.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
- 2 Zvigrad A. Координатный метод обработки фенологических данных / А. Звиград, М. Кулитис-Авена // Интродукция растений в ботанических садах Прибалтики. – Рига: Зинантне, 1984. – С. 7-15.
- 3 Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., Snyder, R.L. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators // Int. J. Biometeorol. – 1999. – Vol. 42. – P. 124-133.
- 4 Методы феномониторинга: Учебно-методический комплекс. – Екатеринбург: Урал. гос. универ., ИОНЦ «Экология и природопользование», 2008. – 180 с.
- 5 Нилов В.Н. К методике статистической обработки материалов фенологических наблюдений // Ботанический журнал. – 1980. – Т. 65, № 2. – С. 282-283.
- 6 Куприянов А.Н. Основы интродукции растений: Учебное пособие. – Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 1999. – 80 с.
- 7 Лазарева С.М. Использование методик обработки данных фенологических наблюдений (на примере представителей семейства Pinaceae Lindl.) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 56-65.

REFERENCES

- 1 Zaitsev G.N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noi botanike*. 1984. 424 s. (in Russ.).
- 2 Zvigrad A. *Introduktsiya rastenii v botanicheskikh sadakh Pribaltiki*. 1984. 7-15. (in Russ.).
- 3 Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., Snyder, R.L. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. *Int. J. Biometeorol.* 1999. 42. 124-133.
- 4 Metody fenomonitoringa. Uchebno-metodicheskii kompleks. 2008. 180 s.(in Russ.)
- 5 Nilov V.N. *Botanicheskii zhurnal*. 1980. 65. N 2. 282-283 (in Russ.).
- 6 Kupriianov A.N. *Osnovy introduktsii rastenii*. 1999. 80 s. (in Russ.).
- 7 Lazareva S.M *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Biologiya. Ekologiya"*. 2011. 4. N 2. 56-65. (in Russ.).

Резюме

В. И. Иллев

(Жезқазған ботаника бағы-КР БФМ ФҚ Ботаника және фитоинтродукция институтының филиалы,
Жезқазған қ., Қазақстан Республикасы)

ФЕНОЛОГИЯЛЫҚ КҮНТІЗБЕЛІК КҮНДЕРДІҢ БОТАНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУДЕГІ СТАТИСТИКАЛЫҚ ӨНДЕУІ ТУРАЛЫ

Салыстырмалы талдаудың негізінде туынды параметрлердің формулаларында вариациялық қатардың арифметикалық орта мәнін қолданудан бас тарту ішінде болатын жаңа тәсіл ұсынылады. Бұл арқылы санап шығудың әртүрлі қүнтізбелік күнінен күндердің сандары түрінде фенологиялық деректердің өндөлген ауқымына байланысты бір магыналы емес түсіндіру жойылады. Вариациялық қатардың туынды параметрлерінің өзгерткен формулалары келтіріледі, оларда санап шығудың қүнтізбелік күніне байланыссыз квадраттық орта ауытқу пайдаланылады.

Тірек сөздер: фенологиялық қүнтізбелік күндер, статистикалық өндеу, туынды параметрлер.

Summary

V. I. Ivlev

(Zhezkazgan Botanical Garden-Branch of Institute of Botany & Phytointroduction,
Zhezkazgan, The Republic of Kazakhstan)

ON STATISTICAL TREATMENT OF PHENOLOGICAL DATES IN BOTANICAL INVESTIGATIONS

On the base of comparative analysis a new approach to mathematical treatment of phenological dates consisting in cancellation of using the arithmetical mean for formulas of derivative parameters of variation series is shown. By this the ambiguous understanding of treated phenodates body as conversion numbers concerning various reference dates is removed. Modified formulas for derivative parameters applying the standard deviation as independent of calendar reference points are resulted.

Keywords: phenological dates, statistical treatment, derivative parameters.

Поступила 25.12.2013 г.