

УДК 634.8

DOI 10.30679/2587-9847-2022-35-34-37

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ДАТЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗРЕЛОСТИ ЯГОД ВИНОГРАДА СОРТОВ СРЕДНЕГО СРОКА СОЗРЕВАНИЯ НА ОСНОВЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ*

Марморштейн А.А., Петров В. С., д-р с.-х. наук.,
Алейникова Г.Ю., канд. с.-х. наук.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (Краснодар)

Реферат. В статье приведено исследование зависимости срока наступления физиологической зрелости ягод винограда от погодных условий. Установлена связь физиологической зрелости ягод с агрометеорологическими условиями предыдущих фаз вегетации и различных календарных периодов. Создана прогностическая модель даты физиологической зрелости ягод винограда. В ходе апробации модели в промышленных насаждениях винограда в Черноморской агроэкологической зоне Краснодарского края на сорте Рислинг рейнский получена сходимости прогностических и фактических значений даты физиологической зрелости ягод.

Ключевые слова: математическое моделирование, прогноз даты сбора урожая, Рислинг рейнский.

Summary. In this article are presented a study of the dependence of the physiological ripeness date of grape berries on weather conditions. The connection of the physiological ripeness of berries with the agrometeorological conditions of the previous vegetative stages and various calendar periods has been established. A forecast model of the physiological ripeness date of grape berries was created. The convergence of predicted and observed values of the physiological ripeness date of berries was obtained during the approbation of the model in industrial vineyards in the Black Sea agroecological zone of Krasnodar region on the Riesling Rhenish variety.

Key words: mathematical modeling, forecast of the harvest date, Riesling rhenish.

Введение. Физиологическая зрелость (ФЗ) является фазой, завершающей созревание ягод винограда [1]. В иностранной литературе данная фаза вегетации обозначается как дата сбора урожая [2]. Дата полной физиологической зрелости используется для определения климатических колебаний при отсутствии метеорологических данных для территорий [3-5]. В наибольшей степени дата полной физиологической зрелости ягод винограда зависит от температуры, что подтверждают многочисленные исследования [6, 7]. Дата может прогнозироваться через необходимую для зрелого винограда массовую концентрацию сахаров для различных сортов – 170-230 г/л, которая определяется по температурным параметрам [8, 9].

Целью данного исследования являлось создание прогностической модели даты физиологической зрелости ягод винограда сортов среднего и среднепозднего периода созревания *Vitis vinifera* L. на основе агрометеорологических условий.

Объекты и методы исследований. Объектами исследования являлись средние и среднепоздние сорта винограда *Vitis vinifera* L., произрастающие на территории ампелографической коллекции АЗОСВиВ, Краснодарский край. Данные по фенологии взяты с 2003 по 2020 гг. из базы данных Анапской ампелографической коллекции. Базисный год – 2019, в числовом формате 1 января 2019 г. равно 43466,0 в Excel. Суточные

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-316-90016

метеорологические данные (средняя, максимальная и минимальная температуры воздуха, сумма атмосферных осадков) брались с сайта ВНИИГМИ-МЦД [10], метеостанция Анапа, 2003-2020 гг. Дополнительно из базовых метеоданных рассчитаны амплитуда температуры воздуха (разница между максимальной и минимальной температурами), суммы температур воздуха выше 0, +5, 10, 15, 20 °С (суммирование среднесуточных температур выше указанных пределов).

Для оценки связи даты полной физиологической зрелости ягод винограда использовался корреляционный анализ временных рядов данного показателя с агрометеорологическими в программе STATISTICA 12.0 [11] методами парной корреляции (значимость коэффициентов подтверждалась *t*-критерием Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$), и множественной регрессией с пошаговым включением/исключением и устранением мультиколлинеарности независимых переменных через лямбду (0,2). Значимость уравнений множественной регрессии подтверждалась критерием Фишера (фактический больше табличного), точность – коэффициентом детерминации (R^2 более 0,15) [12]. Доля влияния определенного фактора оценивалась по величине дельта-коэффициентов [13].

Обсуждение результатов. Для создания прогностической модели даты физиологической зрелости ягод винограда на основе календарных периодов изначально получено уравнение множественной регрессии даты физиологической зрелости ягод винограда, показывающее зависимость данного показателя от метеорологических условий фенологических фаз (1). В самом уравнении как независимые переменные выступали средняя температура воздуха за десять дней до ФЗ и фазы начало созревания-ФЗ, минимальная температура фазы, сумма температур воздуха выше 0 и +5 °С к дате ФЗ. Все независимые переменные и свободный член уравнения значимы. Модель описывает 83 % изменчивости даты физиологической зрелости ягод для сортов среднего и среднепозднего периода созревания, $R = 0,91$. Критерий Фишера выполнен. Стандартная ошибка оценки регрессии равняется 4,99.

$$D_{\text{ФЗ срп}} = -1,05X_1 - 1,51X_2 - 0,66X_3 + 0,01X_4 + 0,01X_5 + 43710,23, \quad (1)$$

где X_1 – средняя температура воздуха за десять дней до физиологической зрелости ягод винограда;

X_2 – средняя температура воздуха фазы начало созревания-физиологической зрелости ягод;

X_3 – минимальная температура воздуха фазы начало созревания-физиологической зрелости ягод;

X_4 – сумма температур воздуха выше 0 °С к дате физиологической зрелости ягод;

X_5 – сумма температур воздуха выше +5 °С к дате физиологической зрелости ягод.

Парная корреляция показала тесную и среднюю прямую связь даты физиологической зрелости ягод с суммами температур воздуха выше 0 и +5 °С (X_4 и X_5) и тесную обратную со средней и минимальной температурами воздуха (X_1 , X_2 и X_3).

Учитывая данные зависимости, для прогностической модели были также отобраны показатели теплообеспеченности, но уже за разные календарные периоды до 1 августа: средняя температура воздуха, минимальная температура воздуха, средняя амплитуда температуры воздуха, суммы температур воздуха выше 0, +5, 10, 15 и 20 °С.

В модели для прогноза даты физиологической зрелости ягод винограда для средних и среднепоздних сортов восемь независимых переменных и свободный член уравнения (2). В модели значимыми являются независимые переменные сумма температур воздуха выше 0,

+5 и 15 °С к началу августа (X_1 , X_2 и X_3), средняя амплитуда температуры воздуха июля (X_6) и свободный член уравнения.

Коэффициент множественной корреляции уравнения равен 0,53. Модель объясняет изменчивость даты физиологической зрелости ягод винограда на 29 %. Критерий Фишера выполнен. Стандартная ошибка оценки регрессии равна 10,271.

$$D_{\Phi 3} = -0,01X_1 - 0,02X_2 + 0,02X_3 - 0,01X_4 - 0,56X_5 + 2,33X_6 - 3,87X_7 - 1,32X_8 + 43775,79, \quad (2)$$

где X_1 – сумма температур воздуха выше +15 °С к началу августа;

X_2 – сумма температур воздуха выше +5 °С к началу августа;

X_3 – сумма температур воздуха выше 0 °С к началу августа;

X_4 – сумма температур воздуха выше +20 °С к началу августа;

X_5 – минимальная температура воздуха за март-июль;

X_6 – средняя амплитуда температуры воздуха июля;

X_7 – средняя амплитуда температуры воздуха за апрель-июль;

X_8 – средняя температура воздуха июля.

Кроме уравнения множественной регрессии оценена парная корреляция. Значимая умеренная обратная зависимость даты физиологической зрелости ягод отмечается от суммы температур воздуха выше +5 °С ($r = -0,39$), +15 °С ($r = -0,45$), +20 °С ($r = -0,44$) к началу августа, средней температуры июля ($r = -0,35$) и средней амплитуды температуры за апрель-июль ($r = -0,31$). Слабая обратная связь даты ФЗ наблюдается с суммой температур воздуха выше 0 °С ($r = -0,24$). Со средней амплитудой температуры воздуха июля и минимальной температурой за март-июль связь очень слабая и незначимая, хотя первый показатель значим в модели.

Сравнение спрогнозированных и фактических значений даты полной физиологической зрелости ягод винограда для сортов раннего срока созревания приведено на рисунке (рис. 1). Прогностические и фактические значения даты ФЗ отличаются несущественно.

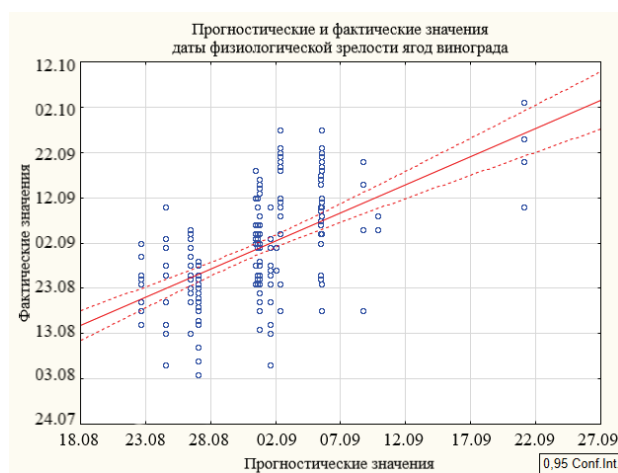


Рис. 1. Прогностические и фактические значения даты физиологической зрелости ягод винограда для сортов винограда среднего и среднепозднего периода созревания

По результатам апробации модели в промышленных насаждениях Черноморской агроэкологической зоны виноградарства в 2019 и 2020 году отклонение прогностической от фактической даты физиологической зрелости составило 10 дней – модель спрогнозировала более раннее созревание ягод, в то время как в 2021 году отклонение получилось в 1 день (табл. 1).

Таблица 1 – Апробация прогностической модели даты полной физиологической зрелости ягод средних и среднепоздних сортов винограда данными фенологических учетов сорта Рислинг Рейнский, 2019-2021 гг.

Год	Дата полной физиологической зрелости ягод по модели	Фактическая дата полной физиологической зрелости ягод
2019	30.08	09.09
2020	31.08	10.09
2021	09.09	08.09

Отклонение прогностической даты от фактической меньше стандартной ошибки оценки регрессии, поэтому данная модель может быть использована на сортах среднего и среднепозднего созревания в условиях Черноморской агроэкологической зоны виноградарства.

Выводы. Прогностическая модель даты физиологической зрелости ягод винограда для средних и среднепоздних сортов показала адекватные результаты при апробации в промышленных насаждениях Черноморской агроэкологической зоны виноградарства – расхождения фактических и прогностических значений меньше стандартной ошибки регрессии. Это является основанием для практического использования модели.

Литература

- Смирнов К.В., Малтабар Л.М., Раджабов А.К., Матузок Н.В., Трошин Л.П. Виноградарство: учебник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 500 с.
- Jones G.V. Winegrape Phenology. In: Schwartz, M. (eds) Phenology: An Integrative Environmental Science. Springer, Dordrecht. 2013. P. 563-584.
- Chuine I., Yiou P., Viovy N., Seguin B., Daux V., Ladurie E.L.R. Grape ripening as a past climate indicator // Nature. 2004. Vol. 432. P. 289-290.
- García de Cortázar-Atauri I., Daux V., Garnier E., Yiou P., Viovy N., Seguin B., Boursiquot J. M., Parker A. K., van Leeuwen C., Chuine I. Climate reconstructions from grape harvest dates: Methodology and uncertainties // The Holocene. 2010. Vol. 20(4). P. 599-608.
- Cook B., Wolkovich E. Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France // Nature Clim Change. 2016. Vol. 6. P. 715-719.
- Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г. Регрессионный анализ фенологических наблюдений за сортами винограда в коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2016. № 38(2). С. 54-61.
- Петров В. С., Марморштейн А. А., Лукьянова А. А. Адаптивная фенологическая реакция интродуцированных сортов винограда *Occidentalis* с. Negr. на изменения погодно-климатических условий юга России // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 73(1). С. 62-76.
- Parker A., Garcia de Cortazar-Atauri I., Gény L. et al. Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars // Agricultural and Forest Meteorology. 2020. Vol. 285-286. 107902.
- Clemente N., Santos J.A., Fontes, N., Graça A., Gonçalves I., Fraga H. Grapevine Sugar Concentration Model (GSCM): A Decision Support Tool for the Douro Superior Winemaking Region // Agronomy. 2022. Vol. 12. 1404.
- Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Гидрометеорологической информации – Мировой Центр Данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteo.ru>
- STATISTICA Base. – Режим доступа: http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Base/
- Сиротенко О.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 1. Математические модели в агрометеорологии. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. 136 с.