

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КРАСНЫХ СУХИХ ВИН С УЧЕТОМ ПИРАЗИНОВОГО КОМПЛЕКСА СЫРЬЯ

В.М. Редька, redkavitali@yandex.ru

А.В. Прах, aprakh@yandex.ru

Н.М. Агеева, ageyeva@inbox.ru

*Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства,
виноделия, Краснодар, Россия*

Аннотация. Проведено сравнение технологий переработки винограда для снижения нежелательных «зеленых» тонов в красных сухих винах, обусловленных метоксипиразинами (МП), для сорта Гранатовый. Проанализировано пять технологических вариантов: контроль (брожение сусле на мезге); углекислотная мацерация целых гроздей; термовинификация (нагрев мезги до 40 °С); ферментация мезги ферментными препаратами; выдержка в бутылке. Концентрации ключевых МП (ИБМП, ИПМП, ЭМП, СБМП) определяли методом газожидкостной хроматографии после пробоподготовки, включавшей криоконсервацию образцов (–40 °С), экстракцию толуолом и центрифугирование. Органолептическую оценку проводили по ГОСТ 32051-2013. Минимальное содержание суммы пиразинов зафиксировано при углекислотной мацерации (0,009 мкг/дм³) и термовинификации (0,011 мкг/дм³), контроль (0,049 мкг/дм³). Установлены доминирующие МП в винах – ИБМП (3-изобутил-2-метоксипиразин) и ИПМП (2-изопропил-3-метоксипиразин). Наивысшая дегустационная оценка (8,0 баллов) выявлена у варианта с термовинификацией, характеризующегося ягодно-черносливовыми нотами и сниженными «зелеными» тонами. Контрольный образец (7,8 балла) имел выраженные овощные и перечные оттенки. Термовинификация мезги доказала эффективность как метод управления пиразиновым комплексом: снижение ИБМП и ИПМП на 80–85 % коррелирует с улучшением органолептического профиля. Технология обеспечивает формирование сбалансированных фруктовых характеристик вина и рекомендована для производственного внедрения. Углекислотная мацерация, хотя и минимизирует МП (0,009 мкг/дм³), показала более низкий сенсорный потенциал (7,7 балла). Результаты подтверждают возможность технологической коррекции «пиразиновых» дефектов сырья на этапе переработки винограда.

Ключевые слова: метоксипиразины, пиразиновый комплекс, ИБМП, ИПМП, термовинификация, углекислотная мацерация, технология виноделия, красные сухие вина, сорт Гранатовый, органолептическая оценка, газожидкостная хроматография

Для цитирования: Редька В.М., Прах А.В., Агеева Н.М. Разработка технологии производства красных сухих вин с учетом пиразинового комплекса сырья // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 3. С. 57–63. DOI: 10.14529/food250306

Original article
DOI: 10.14529/food250306

DEVELOPMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGY FOR RED DRY WINES CONSIDERING THE PYRAZINE COMPLEX OF RAW MATERIALS

V.M. Redka, redkavitali@yandex.ru

A.V. Prakh, aprakh@yandex.ru

N.M. Ageyeva, ageyeva@inbox.ru

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia

Abstract. A comparison of grape processing technologies was conducted to reduce undesirable “green” tones in red dry wines caused by methoxypyrazines (MPs) in the Granatovy variety. Five technological variants were analyzed: control (must fermentation on pulp); carbonic maceration

of whole clusters; thermovinification (heating pulp to 40 °C); pulp fermentation with enzyme preparations; bottle aging. Concentrations of key MPs (IPMP, EMP, SBMP, IBMP) were determined by gas-liquid chromatography after sample preparation involving cryopreservation (–40 °C), toluene extraction, and centrifugation. Organoleptic evaluation was performed according to GOST 32051-2013. The minimum total pyrazine content was recorded for carbonic maceration (0.009 µg/dm³) and thermovinification (0.011 µg/dm³), compared to control (0.049 µg/dm³). The dominant MPs in wines were IBMP (3-isobutyl-2-methoxypyrazine) and IPMP (2-isopropyl-3-methoxypyrazine). The highest sensory score (8.0 points) was observed for the thermovinification variant, characterized by berry-prune notes and reduced “green” tones. The control sample (7.8 points) exhibited distinct vegetable and peppery nuances. Thermovinification proved effective as a method for managing the pyrazine complex: an 80–85% reduction in IBMP and IPMP correlated with improved organoleptic profile. The technology ensures the formation of balanced fruity wine characteristics and is recommended for industrial implementation. Although carbonic maceration minimized MPs (0.009 µg/dm³), it showed lower sensory potential (7.7 points). The results confirm the possibility of technological correction of “pyrazine” defects in raw materials at the grape processing stage.

Keywords: methoxypyrazines, pyrazine complex, IBMP, IPMP, thermovinification, carbonic maceration, winemaking technology, red dry wines, Granatovy variety, organoleptic assessment, gas-liquid chromatography

For citation: Redka V.M., Prakh A.V., Ageyeva N.M. Development of production technology for red dry wines considering the pyrazine complex of raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 3, pp. 57–63. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250306

Введение

Метоксипиразины (МП) признаны высокоактивными одорантными соединениями в многочисленных пищевых продуктах. Пиразины, представляющие собой гетероциклические структуры, содержащие атомы азота, характеризуются интенсивным и специфичным ароматическим профилем. Они широко распространены как в сырых, так и в переработанных пищевых матрицах [1, 2].

Природные пиразины, преимущественно метоксилированные производные, биосинтезируются многими видами растений. Данные соединения отличаются исключительно низкими порогами сенсорного восприятия и вносят значительный вклад в формирование сенсорных характеристик продуктов. Вторая группа, алкилпиразины, образуется в результате реакций Майяра и пиролитических процессов при термообработке, придавая характерные ароматы жареным продуктам (например, кофе). Синтез пиразиновых производных возможен также в ходе карамелизации сахаров и циклизации аминокислот при пиролизе. Третью группу составляют микробные пиразины, продуцируемые микроорганизмами, такими как *Acetobacter aceti*, *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* [4, 5, 6]. Первоначально они были идентифицированы

в ферментированных продуктах (например, тетраметилпиразин в саке и пиве). Ароматические профили пиразинов варьируются от приятных (ореховые, печеные, жареные ноты) до неприятных (зеленые, горькие, вяжущие, жженные тона). Пороги восприятия и качество запаха пиразиновых производных демонстрируют значительную вариабельность. Согласно литературным данным, метоксипиразины функционируют как летучие метаболиты, выполняющие в растениях защитную роль против экологических угроз [6, 7].

Роль метоксипиразинов в формировании аромата вина интенсивно исследуется с момента первой идентификации 3-изобутил-2-метоксипиразина в винограде сорта Каберне Совиньон в 1975 году. Наличие характерных «виноградных» ароматов у сортов Каберне Совиньон, Совиньон Блан, Мерло и Каберне Фран обусловлено присутствием 3-сек-бутил-2-метоксипиразина и 3-изопропил-2-метоксипиразина, ответственных за зеленые и растительные тона в вине [8–10]. Метоксипиразины обладают потенциалом к модуляции других компонентов ароматического букета. Экспериментально установлено, что IBMP, присутствуя в концентрациях ниже порога индивидуального сенсорного восприятия, способен: потенцировать восприятие «дымных» и «дег-

тарных» нот, проявлять ароматы «красных ягод» и «фиалки» [11, 12, 13]. Этот феномен косвенного влияния подчеркивается в исследованиях стиля бордоских вин, где отсутствие выраженного тона «зеленого болгарского перца» в винах из Каберне Совиньон ассоциируется с достижением оптимальной фенологической зрелости ягоды [7, 9, 10].

Сенсорные пороги обнаружения данных соединений чрезвычайно низки и составляют всего 2–16 нг/дм³ в винной матрице, что позволяет предположить их вклад в сортовую дифференциацию ароматических профилей. В винах с повышенным содержанием МП продемонстрировано негативное влияние этих соединений на восприятие фруктоности. Концентрации ИВМР в диапазоне 10–15 нг/дм³ придают вину желательные при сбалансированности тона «зеленого перца» и «травянистости». Однако более высокие концентрации приводят к доминированию нежелательных подавляющих «травянистых» и «растительных» ароматов [6].

Агротехнические приемы, такие как дефолиация и удаление пасынков винограда, способствуют снижению концентрации 3-изобутил-2-метоксипиразина в вине. Вина, произведенные из винограда, подвергшегося данным манипуляциям (по сравнению с виноградом, выращенным в условиях затенения), демонстрируют более гармоничный фруктовый профиль и редуцированные сортовые тона [2, 3].

В то же время представляют интерес технологические приемы, влияющие на содержание метоксипиразинов. Например, инклюзия гребней в процессе ферментации представляет собой значимый фактор повышения уровня пиразинов в вине. Исследования подтверждают высокое содержание МП в гребневой ткани (до 53 % от общего количества в грозди у сорта Каберне Совиньон). Сортная специфика синтеза МП иллюстрируется примером Шираза: несмотря на ограниченную способность ягоды к биосинтезу МП, экстракция пиразинов из гребней в ходе ферментации может обуславливать появление атипичных «зеленых» тонов в винах этого сорта [11, 14, 15].

Таким образом, МП оказывают значительное воздействие на ароматику вина при экстремально низких концентрационных уровнях, что, в свою очередь, говорит о недостаточности зрелого сырья. Это обуславливает необходимость не только определения данных

веществ, но и технологических подходов для производства вин без ярко выраженных «пиразиновых» тонов.

Объекты и методы исследований

Исследования были проведены на территории Краснодарского края в центральной зоне виноградарства; использовался красный технический сорт винограда – Гранатовый. Уборка винограда проводилась 17 сентября 2023 года.

Экспериментальная часть работы проводилась в лаборатории научного центра «Виноделие», цехе микровиноделия и ЦКП «Приборно-аналитический» ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Органолептическую оценку виноматериалов проводили члены дегустационной комиссии ФГБНУ СКФНЦСВВ РАСХН по 10-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 32051-2013.

Концентрация летучих ароматических компонентов виноматериалов, таких как метоксипиразины, была определена на газожидкостном хроматографе «Кристалл 2000 М». Пробоподготовка проводилась следующим образом: отобранные образцы винограда были немедленно подвергнуты криоконсервации при температуре –40 °С для обеспечения стабильности аналитов до последующего анализа. Параллельная часть этих образцов была переработана в виноматериалы; полученные винные образцы также стабилизировали путем хранения в холодильных условиях до момента анализа. Первый этап пробоподготовки виноградного материала включал следующие последовательные операции: замороженные грозди подвергали гребнеотделению для удаления стеблевой ткани, после чего выделенные ягоды измельчали с использованием лабораторной дробилки до получения гомогенной пульпы. Определенную массу переносили в коническую колбу объемом 200 мл до метки. К пробе добавляли 10 мл химически чистого (х.ч.) толуола в качестве экстрагента. Образовавшуюся гетерогенную смесь подвергали центрифугированию (5000 об/мин, 30 мин) для разделения фаз. По завершении центрифугирования 5 мл супернатанта (толуольной фазы) аккуратно аспирировали с помощью градуированной пипетки. Отобранный экстракт помещали в герметизируемый флакон для проб объемом 20 мл, который плотно закрывали для предотвращения потерь летучих компонентов и возможной контаминации

перед последующим хроматографическим анализом [16, 17].

В результате проведенных анализов были получены данные, где:

1 – ИПМП (IPMP) – 2-изопропил-3-метоксипиразин;

2 – ЭМП (EMP) – 2-этил-3-метоксипиразин;

3 – СБМП (SBMP) – 2-sec-бутил-3-метоксипиразин;

4 – ИБМП (IBMP) – 2-изобутил-4-метоксипиразин.

Результаты и обсуждения

Нами проводилась переработка винограда в промышленных условиях по следующим современным технологиям:

1 вариант (контроль) – дробление винограда, **брожение сусла на мезге** с использованием активных сухих дрожжей IOC PRESTIGE, продолжительность брожения до 7 дней;

2 вариант – **углекислотная мацерация целых гроздей** винограда в течение 3 дней с предварительной их сульфитацией до 100 мг/дм³ общего диоксида серы, дробление гроздей, брожение мезги (дрожжи IOC PRESTIGE) до 7 дней;

3 вариант – дробление винограда, **нагрев мезги до 40 °С**, после самостывания сбраживание с использованием активных сухих дрожжей IOC PRESTIGE;

4 вариант – дробление винограда, **ферментация мезги** препаратами Тренолин Супер ДФ (“ERBSLOEH Geisenheim AG”, Германия) и SanSuper 240L (“Novo Nordisk”, Дания) в течение 2 часов, дальнейшее сбраживание активными сухими дрожжами IOC PRESTIGE;

5 вариант – дробление винограда, **брожение сусла на мезге** с использованием активных сухих дрожжей IOC PRESTIGE, продолжительность брожения до 7 дней, выдержка в течение 6 месяцев в бутылке.

Результаты испытаний на примере сорта Гранатовый приведены в табл. 1.

Результаты исследований показали, что максимальное содержание таких пиразинов как 3-изобутил-2-метоксипиразин (ИБМП) и 2-изопропил-3-метоксипиразин (ИПМП) находилось в максимальных концентрациях среди остальных. Причем во всех вариантах опыта они были примерно равными. Для 2-

этил-3-метоксипиразин (ЭМП) и 2-sec-бутил-3-метоксипиразин (СБМП) были зафиксированы минимальные концентрации у всех вариантов технологий (см. табл. 1).

Дегустация, проведенная совместно специалистами-экспертами ФГБНУ СКФНЦСВВ и производителями, показала, что различные технологии переработки винограда способствуют изменению ароматического профиля (табл. 2).

Так, в варианте 1 отмечались оттенки овощей и болгарского перца, в том числе основные, сортовые ароматы и мягкий гармоничный вкус. Наибольшую дегустационную оценку получил вариант 3, в котором проводили термовинификацию при температуре 40 °С, а далее брожение на мезге (см. рисунок).

Общая сумма пиразинов в вариантах переработки винограда изменялась от 0,004 (вариант с термообработкой) до 0,049 (контроль) мкг/дм³ (см. рисунок). Установлено, что дополнительные технологические приемы, примененные к основному процессу брожения, снижают общее содержание метоксипиразинов.

Таким образом, представленные экспериментальные данные и результаты промышленных испытаний свидетельствуют об определении наиболее эффективных методов снижения МП:

– углекислотная мацерация (вариант 2): минимальная сумма пиразинов составила 0,009 мкг/дм³, дегустационная оценка – 7,7 баллов;

– термовинификация (вариант 3): сумма пиразинов 0,011 мкг/дм³ и наивысшая дегустационная оценка – 8,0 баллов.

Снижение концентрации МП (особенно ИБМП и ИПМП) коррелирует с уменьшением интенсивности негативных тонов («овощные», «болгарский перец», «паприка», «зеленая кислотность», «травы») и способствует формированию более гармоничного фруктового профиля (ягоды, чернослив) и чистого вкуса. Термовинификация позволила получить вино с более лучшим балансом. Нагрев мезги до 40 °С перед брожением выделен как наиболее перспективная технология для сорта Гранатовый, обеспечивающая значимое снижение МП и получение виноматериала с оптимальными сенсорными свойствами.

Таблица 1
Содержание пиразинов в виноматериалах в зависимости от технологических приемов,
сорт Гранатовый, мкг/дм³

№ варианта	ИПМП 2-изопропил-3- метоксипиразин	ЭМП 2-этил-3- метоксипиразин	СБМП 2-сес-бутил-3- метоксипиразин	ИБМП 3-изобутил-2- метоксипиразин	Сумма пиразинов
1	0,022	0,001	0,0011	0,025	0,049
2	0,0042	0,0007	0,000105	0,00385	0,009
3	0,0054	0,0009	0,000135	0,00495	0,011
4	0,00708	0,00718	0,000177	0,00649	0,021
5	0,012	0,002	0,0003	0,011	0,025

Таблица 2
Органолептическая оценка виноматериалов сорт Гранатовый
с применением различных технологий

№ варианта	Органолептическая характеристика	Средний балл
1	Цвет темно-красный, фиолетовый оттенок. Аромат ягодный, с тонами гороха. Вкус чистый, легкий, простой с «зеленой кислотностью», овощные тона, паприка	7,8
2	Цвет темно-красный. Аромат ягодно-фруктовый, простой с оттенками трав и зеленого гороха. Вкус чистый, легкий, чрезмерно свежий	7,7
3	Цвет темно-рубиновый. Аромат ягодный с оттенками чернослива, ежевики, калины. Вкус чистый, легкий, свежий, с долгим свежим послевкусием	8,0
4	Цвет рубиновый. Аромат ягодно-черносливовый, достаточно простой, тона зеленых трав. Вкус полный, танинный с долгим послевкусием	7,9
5	Цвет темно-рубиновый. Аромат ягодный с оттенками чернослива, ежевики, малины, отчетливо слышны сливочные тона, овощные ноты. Вкус полный, танинный, с долгим бархатистым послевкусием	7,7



Общая сумма пиразинов и технологические приемы винограда на примере сорта Мерло

Исследование подтверждает возможность целенаправленного технологического управления пиразиновым комплексом на этапе переработки

винограда. Термовинификация мезги предлагается как эффективный практический метод для улучшения качества красных сухих вин.

Список литературы / References

1. Belancic A., Agosin E. Methoxypyrazines in grapes and wines of *Vitis vinifera* cv. Carmenere. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2007, vol. 58, no. 4, pp. 462–469. DOI: 10.5344/ajev.2007.58.4.462. URL: <https://www.ajevonline.org/content/58/4/462>
2. Boss P.K. et al. Fermentation of grapes throughout development identifies stages critical to the development of wine volatile composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 24–37.
3. Candelon N. et al. New approach to asymmetrically substituted methoxypyrazines, derivatives of wine flavors. *Tetrahedron*, 2010, vol. 66, no. 13, pp. 2463–2469. DOI: 10.1016/j.tet.2010.01.088
4. Cheng X. et al. Reduction of methoxypyrazines with ‘vegetable-like’ odors in grapes by foliar nitrogen application. *Scientia Horticulturae*, 2022, vol. 301, pp. 111106. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111106
5. Deshaies S. et al. Study of the oxidative evolution of tannins during Syrah red wines ageing by tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, 2022, vol. 385, p. 132538. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132538
6. Fontana A.R., Bottini R. QuEChERS Method for the Determination of 3-Alkyl-2-Methoxypyrazines in Wines by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Food Analytical Methods*, 2016, vol. 9, pp. 3352–3359. DOI: 10.1007/s12161-016-0532-4
7. Hashizume K., Umeda N. Methoxypyrazine content of Japanese red wines. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1996, vol. 60, no. 5, pp. 802–805. DOI: 10.1271/bbb.60.802. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27281141/>
8. Kotseridis Y.S. et al. Quantitative analysis of 3-alkyl-2-methoxypyrazines in juice and wine using stable isotope labelled internal standard assay. *Journal of Chromatography A*, 2008, vol. 1190, no. 1–2, pp. 294–301. DOI: 10.1016/j.chroma.2008.02.088
9. Le Moigne M. et al. Sensory and instrumental characterisation of Cabernet Franc grapes according to ripening stages and growing location. *Food Quality and Preference*, 2008, vol. 19, no. 2, pp. 220–231. DOI: 10.1016/j.foodqual.2007.03.004
10. Lei Y. et al. Behavior of 3-isobutyl-2-methoxypyrazine biosynthesis related to proposed precursor and intermediate in wine grape. *Food Chemistry*, 2019, vol. 277, pp. 609–616. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.10.121
11. Lei Y. et al. Methoxypyrazines biosynthesis and metabolism in grape: A review. *Food Chemistry*, 2018, vol. 245, pp. 1141–1147. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.11.056
12. Lu H. C. et al. Reducing the source/sink ratio of grapevine to face global warming in a semi-arid climate: Effects on volatile composition of Cabernet Sauvignon grapes and wines. *Food Chemistry: X*, 2022, vol. 15, pp. 100449. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100449
13. Moreno-Arribas M.V., Polo M.C. *Wine Chemistry and Biochemistry*. New York: Springer-Verlag, 2009. 728 p. ISBN 978-1-4419-2548-0.
14. Prakh A.V. et al. Determination of methoxypyrazines in dry wines. *BIO Web of Conferences*, 2024, vol. 108, p. 25004. DOI: 10.1051/bioconf/202410825004. URL: https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/abs/2024/02/bioconf_icabp2024_25004/bioconf_icabp2024_25004.html
15. Sanders R.D. et al. Methoxypyrazine concentrations in the grape bunch rachis of *Vitis vinifera* L. Cv Shiraz: Influence of rootstock, region and light. *Food Chemistry*, 2023, vol. 408, p. 135234.
16. Ugliano M. Enzymes in winemaking. In: M.V. Moreno-Arribas, M.C. Polo (Eds). *Wine Chemistry and Biochemistry*. New York: Springer, 2009, pp. 103–126. DOI: 10.1007/978-0-387-74118-5_6
17. Yuan M. et al. Mixed fermentation innovation: Manipulating nitrogen and carbon levels for organoleptic masking of undesirable green character attributed to 3-isobutyl-2-Methoxypyrazine in wines. *Food Bioscience*, 2025, vol. 64, p. 105914. DOI: 10.1016/j.fbio.2025.105914

Информация об авторах

Редька Виталий Михайлович, младший научный сотрудник научного центра «Виноделие», Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия; redkavitali@yandex.ru

Прах Антон Владимирович, старший научный сотрудник научного центра «Виноделие», Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия; aprakh@yandex.ru

Агеева Наталья Михайловна, главный научный сотрудник научного центра «Виноделие», Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия; ageyeva@inbox.ru

Information about the authors

Vitaliy M. Redka, Junior Researcher, Winemaking Research Center, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia; redkavitali@yandex.ru

Anton V. Prakh, Senior Researcher, Winemaking Research Center, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia; aprakh@yandex.ru

Natalia M. Ageyeva, Chief Researcher, Winemaking Research Center, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia; ageyeva@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 20.06.2025

The article was submitted 20.06.2025