

УДК 664.8; 663.81

DOI: [https://doi.org/10.14258/zosh\(2023\)1.10](https://doi.org/10.14258/zosh(2023)1.10)

НАПИТОК ИЗ МОРКОВИ, КРАСНОЙ СВЕКЛЫ И КРАСНОГО ЯБЛОКА ОПТИМИЗИРОВАННОГО СОСТАВА

Иванова Петя^{ACD}

Доцент, доктор. Институт хранения, переработки и контроля качества пищевых продуктов, Сельскохозяйственная академия Болгарии. Пловдив, Болгария. E-mail: petjofi@abv.bg. Orcid: 0000-0002-2475-6860

Петрова Тодорка^B

Профессор, доктор. Институт хранения, переработки и контроля качества пищевых продуктов, Сельскохозяйственная академия Болгарии. Пловдив, Болгария. E-mail: dorrapetrova@abv.bg. Orcid: 0000-0002-5447-9577

OPTIMIZED COMPOSITION OF A DRINK FROM CARROT, RED BEET AND RED APPLE

Ivanova Petya^{ACD}

Associate Professor, PhD, Institute of Food Preservation and Quality, Agricultural Academy. Plovdiv, Bulgaria. E-mail: petjofi@abv.bg. Orcid: 0000-0002-2475-6860

Todorka Petrova^B

Professor, PhD, Institute of Food Preservation and Quality, Plovdiv, Agricultural Academy, Bulgaria. E-mail: dorrapetrova@abv.bg, ORCID: 0000-0002-5447-9577

Аннотация. Изучено сырье из моркови, столовой свеклы и красного яблока, богатое биологически активными компонентами и вторичными метаболитами (полифенолами), которые участвуют в разработке модельных экспериментальных образцов напитков на овощной основе.

Модельные экспериментальные образцы напитков из одного, двух или нескольких компонентов перечисленного сырья получены путем холодного отжима. Характеристику экспериментальных образцов определяли на основе проведения биохимических, органолептических и спектральных анализов сразу в день их получения.

В результате построенных математических моделей на содержание общих полифенолов, антиоксидантной способности, оцененной путем определения способности улавливать радикалы (DPPH-тест), и органолептической оценки был оптимизирован и в итоге определен следующий рекомендуемый рецептурный состав экспериментальных фруктово-овощных напитков: моркови — 50%, столовой свеклы от 75 до 100% и красного яблока — от 0 до 40%.

Ключевые слова: оптимизация соков, морковь, красная свекла, красное яблоко, общие полифенолы, цвет, антиоксидантная активность, органолептическая оценка

Annotation. Raw materials carrot, red beet and red apple, rich in biologically active compounds and secondary metabolites (polyphenols), were studied to participate in the development of experimental samples of vegetable-based beverages.

Model test samples of mono-component, two-component and multi-component drinks from the listed raw materials were developed by cold pressing. Characterization of the developed test samples

was carried out on the basis of the physicochemical, sensory and spectral tests carried out on the day of their receipt.

As a result of the obtained mathematical models for the content of total polyphenols, antioxidant capacity, evaluated by determining the radical scavenging ability (DPPH-test) and sensory evaluation, the composition of developed trial samples of vegetable-based drinks was optimized and the following composition was recommended: carrot drink — 50%, red beet — from 75 to 100% and red apple — from 0 to 40%.

Keywords: optimization of juices, carrots, red beets, red apples, total polyphenols, color, antioxidant activity, organoleptic evaluation

Введение. В настоящее время переработчики стремятся удовлетворить потребности потребителей, разрабатывая продукты на основе изученных фруктов и овощей, богатых биологически активными веществами (Matsuura et al., 2004). Разработка купажированных соков — это ресурс, с помощью которого переработчики могут внедрить в производство продукты с новыми вкусами, улучшенным цветом, текстурой и добавленной питательной ценностью (Sobhana et al., 2015). Согласно Zotarelli et al. (2008) купажированные напитки из двух или более видов сырья обеспечивают приятные органолептические характеристики, необходимые потребителям. Немаловажным аспектом является и экономическая эффективность производства этих соков, которая вытекает из добавления более дешевого сырья к сырью с высокой добавленной стоимостью.

Для облегчения производства купажированных напитков промышленными предприятиями необходимо использовать методологию оптимизации состава продукта, основанную на пищевой или биологической ценности и органолептических характеристиках, включая внешний вид, цвет, вкус и запах (De Ketelaere et al., 2011). Состав смесей компонентов анализируется с использованием методологии поверхности отклика (RSM), которая является одним из наиболее широко используемых методов оптимизации (Souza et al., 2012; Tahmouzi, 2016).

Цель исследования: изучение возможностей создания и разработки нового напитка на основе фруктов и овощей, полученного методом холодного отжима, короткого срока хранения, способствующего пропаганде здорового питания в соответствии с национальными рекомендациями по снижению риска алимен-

тарного дефицита и хронических заболеваний, связанных с питанием.

Материалы и методы

1. Сырье

Для разработки соков использовались плоды красного яблока и овощей: красная свекла и морковь, поставляемые производителем из района Пловдивской области.

2. Физико-химические и биохимические показатели определяют следующими методами:

► Содержание общих полифенолов во фруктах, овощах и соках, полученных из них, определяли по методу Singleton and Rossi (1965) в следующей модификации: в мерную пробирку объемом 10 мл вводят 0,1 мл пробы экстракта (фруктов и/или сока), ~ 7 мл дистиллированной воды, 0,5 мл Folin-Ciocalteu — реактива (разбавленного дистиллированной водой в соотношении 1:4) и 1,5 мл 7,5% (масса/объем) водного раствора карбоната натрия. Доводили до метки дистиллированной водой. После выдержки в течение 2 ч при 20–25 °С измеряли оптическую плотность реакционной смеси при 750 нм. Аналогичным образом готовили холостой образец с использованием дистиллированной воды вместо экстракта. Полученные результаты представлены в эквивалентах галловой кислоты (GAE) на 100 г экстракта.

► Определение антирадикальной активности (тест DPPH). Способность улавливать радикалы определяли по методу Brand-Williams et al. (1995) в следующей модификации: в кювету последовательно дозировали 2250 мкл раствора DPPH (2,4 мг DPPH в 100 мл метанола) и 250 л экстракта пробы, предварительно разбавленного дистиллированной водой в объемном соотношении 1:3. Аналогичным образом

готовили холостую пробу с использованием метанола вместо экстракта. После выдерживания закрытых кювет в темноте в течение 15 мин при 20–25 °С измеряли абсорбцию реакционной смеси при 515 нм. Полученные результаты представлены в эквивалентах Trolox (TE) на 100 г экстракта.

► Определение железо-снижающей антиоксидантной способности (FRAP-тест).

Процедура основана на методе Benzie and Strain (1996), применяемом с некоторыми изменениями. Реактив FRAP готовили после смешивания 2,5 мл раствора TPTZ (10 ммоль/л) в соляной кислоте (40 ммоль/л), 2,5 мл водного раствора FeCl₃ (20 ммоль/л) и 25 мл ацетатного буфера (0,3 моль/л, pH 3,6). Для проведения реакции 2250 мкл реагента FRAP смешивали с 250 мкл экстракта (разбавленного дистиллированной водой в соотношении 1:3, по объему); оптическую плотность при 593 нм измеряли через 4 мин выдержки реакционной смеси в закрытой кювете при комнатной температуре в темноте.

3. Спектральный анализ

► Определение цвета по Гарднеру — Инструментальное с колориметром «Colorgard 05 / CIELab 2000» производства ВУК-Gardner Inc. США.

Показатели сообщаются по системе CIE Lab.

При измерении брались три цветовые координаты: L, a и b:

L — яркость цвета (L = 0 — черный, L = 100 — белый);

a — положительные значения показателя характеризуют количество красного цвета, а отрицательные — зеленого цвета;

b — положительные значения характеризуют желтый цвет, отрицательные — синий цвет.

Для каждого образца было выполнено пять измерений. Цветовые координаты каждого образца представляют собой среднее арифметическое измеренных координат.

4. Сенсорный анализ

Органолептическую оценку полученных соков на фруктово-овощной основе проводили по балльной системе. Соки предоставляют на органолептическую оценку дегустаторам,

каждый из них заполняет дегустационную карту и оценивает по показателям: внешний вид, вкус, запах, консистенция, цвет. Каждый показатель имеет весовой коэффициент соответственно: внешний вид — 0,2; цвет — 0,2; консистенция — 0,15; вкус — 0,3; запах — 0,15.

Используется балльная оценка от 1 до 5 (с шагом 0,25), что соответствует качеству продукта по соответствующему показателю.

Пятибалльная система оценивания дает окончательную оценку качества готового продукта на основе общего количества полученных баллов:

4,50–5,00 — готовый продукт очень хороший;

4,00–4,49 — готовый продукт хороший;

3,50–3,99 — готовый продукт нуждается в доработке;

ниже 3,50 — готовый продукт нуждается в значительной доработке.

5. Математико-статистическая обработка данных

Все анализы были выполнены не менее чем в трех повторах, и результаты представлены в виде средних значений.

Подход носит теоретико-экспериментальный характер и охватывает следующие этапы: анализ, экспериментирование, моделирование и оптимизацию рецептурного состава напитков.

План эксперимента. Для приготовления соков использовали Симплексный центральный план, подходящий для смесей, в которых сумма переменных (X_1, X_2, X_3) равна 100%. Симплексные решетчатые планы с семью экспериментами используются для получения адекватной математической модели изучаемых показателей. Симплексные решетки применимы, если для каждого компонента выполняется условие $0 < X_i < 1$ (i — порядковый номер компонента).

Общий тип уравнения, описывающего свойства смесей:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1),$$

где β_p , β_{ij} и β_{ijk} — коэффициенты уравнения, а X_i — компоненты смеси.

Таблица 1

Матрица проведения эксперимента

№	X ₁	X ₂	X ₃
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	0	50	50
6	50	0	50
7	33	33	33

Разработка рецептур, исследование физико-химических, биохимических и органолептических характеристик экспериментальных образцов напитков проводились в лабораториях Института хранения, переработки и контроля качества пищевых продуктов в городе Пловдив, Болгария.

Разработанная технология производства напитков описана в Постановке научного эксперимента и представлена на рисунке 1.

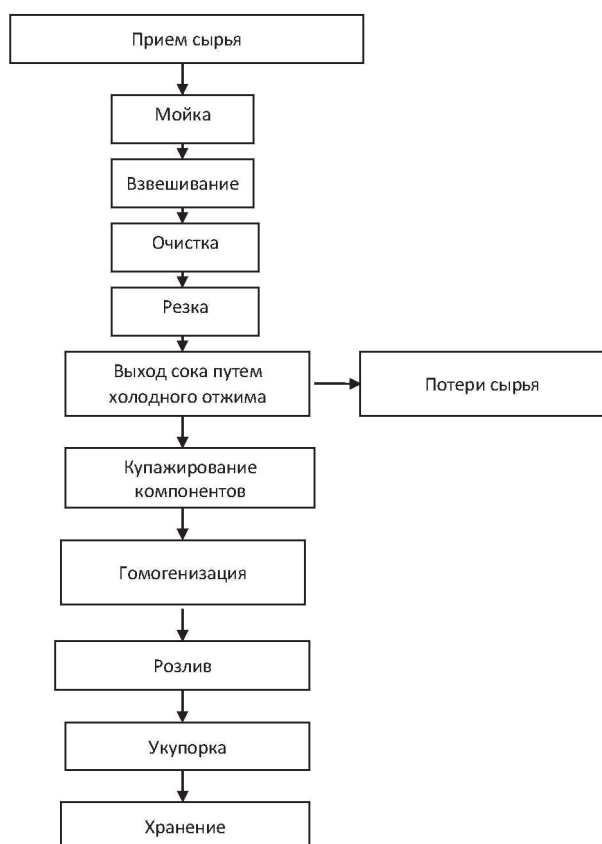


Рис. 1. Технология получения экспериментального напитка

Результаты и дискуссия

В таблице 2 приведены итоговые органолептические оценки (SV), содержания общих полифенолов (TPP) и активности по удалению радикалов (DPPH) приготовленных вариантов напитка из моркови, столовой свеклы и красного яблока.

Таблица 2

Органолептическая оценка, TPP и DPPH вариантов напитка из моркови, столовой свеклы и красного яблока

№	Органолептическая оценка (SV)	TPP	DPPH
		(mgGAE/100g d. b.)	(μmolTE/100g d. b.)
1	4,00	284,00	729,20
2	4,50	140,00	2760,70
3	5,00	67,00	210,42
4	3,75	90,00	491,67
5	4,00	44,00	979,17
6	4,75	58,00	118,75
7	4,25	80,00	437,50

После обработки результатов эксперимента получены следующие математические модели органолептической оценки, содержания общих полифенолов и радикал-улавливающей активности вариантов напитка из моркови, столовой свеклы и красного яблока:

$$SV = 4,0 \cdot X_1 + 4,5 \cdot X_2 + 5,0 \cdot X_3 - 2,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,0 \cdot X_1 \cdot X_3 + 5,25 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

$$TPP = 284,0 \cdot X_1 + 140,0 \cdot X_2 + 67,0 \cdot X_3 - 488,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 526,0 \cdot X_1 \cdot X_3 - 182,0 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1329,0 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

$$DPPH = 729,2 \cdot X_1 + 2760,67 \cdot X_2 + 210,42 \cdot X_3 - 5013,06 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2037,44 \cdot X_1 \cdot X_3 - 5467,18 \cdot X_2 \cdot X_3 + 3838,28 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (4)$$

Полученные уравнения с высокой точностью описывают изменение концентрации зависимых переменных при доверительной вероятности P<0,05, так как R>0,9.

На рис. 2–4 представлены поверхности отклика по органолептической оценке, содержанию общих полифенолов и способности улавливать свободные радикалы компонентных композиций морковного, свекольного, краснояблочного напитка.

Результаты органолептической оценки показателей внешнего вида, цвета, вкуса, запаха и консистенции исследуемых продуктов представлены на рисунке 2, из которого видно, что наибольшей популярностью среди дегустаторов пользуется однокомпонентный напиток из красных яблок (5,00). Образец, приготовленный из столовой свеклы и моркови, получил наименьшую общую сенсорную оценку (3,75). Все остальные разработанные варианты пробных образцов этого напитка имеют хорошие оценки (4,00–4,50).

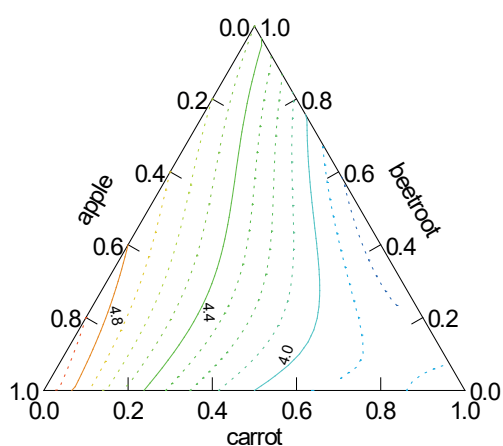


Рис. 2. Поверхность отклика общей органолептической оценки компонентных композиций для напитка из моркови, столовой свеклы и красного яблока

Исследования на наличие фенольных соединений показывают, что фенольные соединения имеют наибольшую концентрацию в вариантах однокомпонентных морковных и свекольных напитков (284,00 мг GAE/100 г и 140,00 мг GAE/100 г). Наиболее низкой концентрацией фенольных соединений отличаются варианты напитка сочетания красной свеклы и красного яблока — 44,00 мг GAE/100 г. Установлено, что купажирование компонентов не приводит к увеличению общего содержания фенолов в разработанных вариантах напитка, за исключением напитка из красного яблока.

Данные статистически различаются, разница обусловлена разным компонентным составом, $P < 0,05$ (рис. 3).

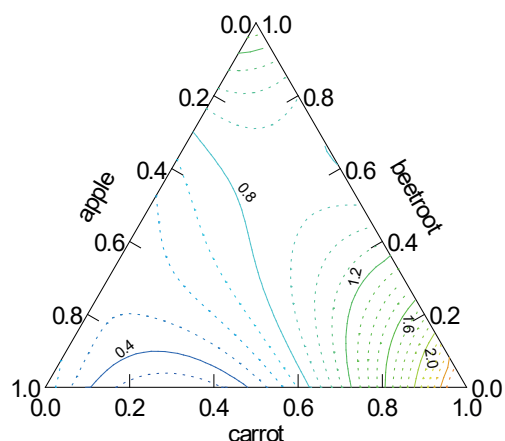


Рис. 3. Поверхность отклика TPP (*100) компонентных композиций для напитка из моркови, столовой свеклы и красного яблока

Для всех модельных образцов антирадикальная активность имеет самые высокие значения для однокомпонентного напитка из красной свеклы (2760,70 мкмоль ТЭ/100 г). Из полученных результатов установлено, что при смешивании вводимых трех равных частей выбранного сырья способность к удалению радикалов увеличивается только по сравнению с однокомпонентным напитком из красного яблока. Данные статистически различаются, разница обусловлена разнообразным составом, $P < 0,05$. (рис. 4).

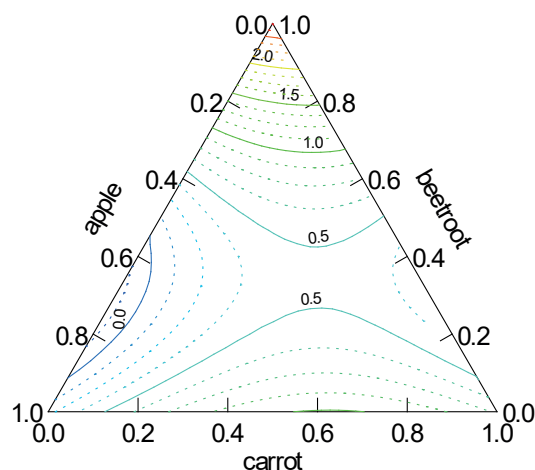


Рис. 4. Поверхность отклика DPPH (*1000) вариантов напитка из моркови, столовой свеклы и красного яблока

В таблице 3 приведены среднеарифметические значения измеренных цветовых координат — L , a , b .

Таблица 3
Цветаые координаты напитка из моркови, красной свеклы и красного яблока

№	L	a	b
1	42,86	28,79	41,58
2	1,46	12,11	1,93
3	49,24	6,86	38,56
4	10,16	21,98	10,75
5	8,98	27,56	8,17
6	41,27	15,73	34,19
7	22,61	30,57	19,28

После обработки результатов получены следующие математические модели цветковых координат L, a и b:

$$L = 42,86 \cdot X_1 + 1,46 \cdot X_2 + 49,24 \cdot X_3 - 48,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 148,28 \cdot X_1 \cdot X_3 + 63,68 \cdot X_2 \cdot X_3 + 166,231 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (5)$$

$$a = 28,79 \cdot X_1 + 12,11 \cdot X_2 + 6,86 \cdot X_3 + 6,12 \cdot X_1 \cdot X_2 + 38,94 \cdot X_1 \cdot X_3 + 24,98 \cdot X_2 \cdot X_3 + 185,43 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (6)$$

$$b = 41,58 \cdot X_1 + 1,93 \cdot X_2 + 38,56 \cdot X_3 - 44,02 \cdot X_1 \cdot X_2 - 127,6 \cdot X_1 \cdot X_3 + 55,78 \cdot X_2 \cdot X_3 + 129,45 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (7)$$

Полученные уравнения точно описывают изменение цветковых координат зависимых переменных при доверительной вероятности $P < 0,05$, так как $R > 0,9$.

На рисунках 5–7 изображены поверхности отклика цветковых координат L, a и b.

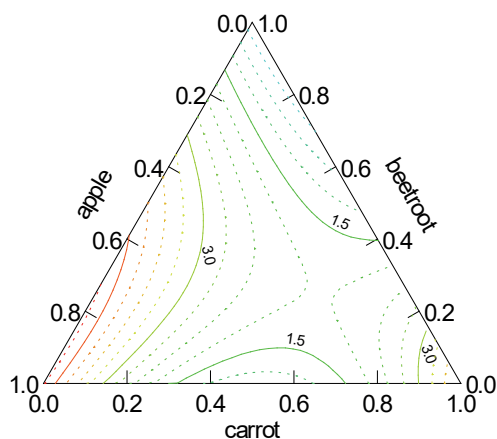


Рис. 5. Поверхность отклика L (*10) компонентных композиций напитка из моркови, красной свеклы и красного яблока

Данные по яркости и насыщенности опытных образцов показывают, что она самая низкая у свекольного напитка (1,46) и самая высокая — у однокомпонентного напитка из красного яблока (49,24). При выработке напитков из экспериментальных композиций достигается более высокое значение яркости по сравнению со свекольным напитком. Данные статистически различаются, разница обусловлена разным компонентным составом, $P < 0,05$.

В однокомпонентных вариантах красный цвет преобладает в морковном напитке (28,79), с низким значением он проявляется в напитке из красного яблока (6,86). В разработанных прототипах купажирование приводит к увеличению количественного значения красного цвета (вариант 7). Данные статистически различаются, разница обусловлена разным компонентным составом, $P < 0,05$ (рис. 6).

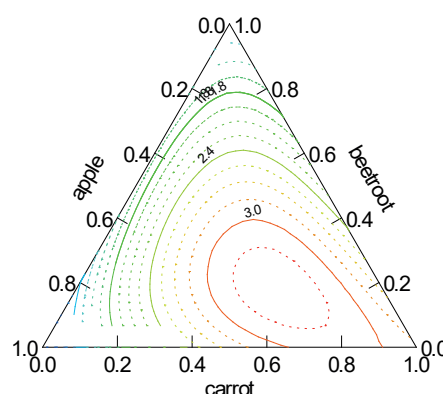


Рис. 6. Поверхность отклика a (*10) вариантов напитка из моркови, красной свеклы и красного яблока

Компонент желтого цвета был измерен для всех экспериментальных образцов. Самые высокие значения имеют варианты 1 и 3 однокомпонентных напитков из моркови (41,58) и красного яблока (28,52). Данные статистически различимы, разница обусловлена различным компонентным составом, $P < 0,05$. При моделировании напитка из моркови, красной свеклы и красного яблока количественное значение тона желтого цвета увеличивается только по сравнению с монокомпонентным напитком из красной свеклы (рис. 7).

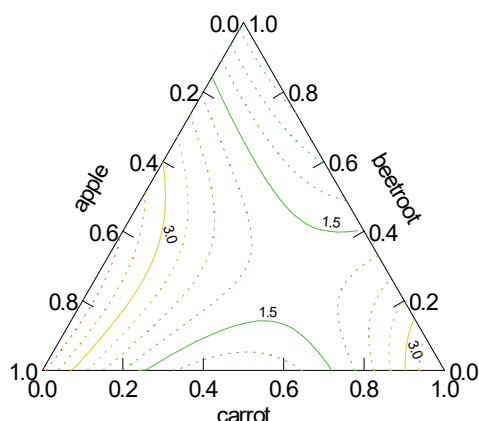


Рис. 7. Поверхность отклика $b (*10)$ вариантов напитка из моркови, красной свеклы и красного яблока

Оптимизация. Для оптимизации состава напитка из моркови, свеклы, красного яблока в качестве целевых функций выбраны следующие: общая органолептическая оценка (SV), общее содержание полифенолов (TPP) и способность поглощать свободные радикалы (DPPH). Для этого необходимо решить систему полученных уравнений регрессии для соответствующих показателей в пределах, указанных в таблице 4.

Таблица 4

Границы целевой функции для оптимизации состава морковного, свекольного и яблочного напитка

Целевая функция	Пределы целевой функции
Общая органолептическая оценка (SV)	> 4,00
Общее содержание полифенолов (TPP)	> 60,00 mgGAE/100g d. b.
Радикал-улавливающая активность (DPPH)	> 500,00 $\mu\text{molTE}/100\text{g d. b.}$

Оптимальная площадь ингредиентов в напитках из моркови, свеклы и красного яблока представлена на рисунке 8.

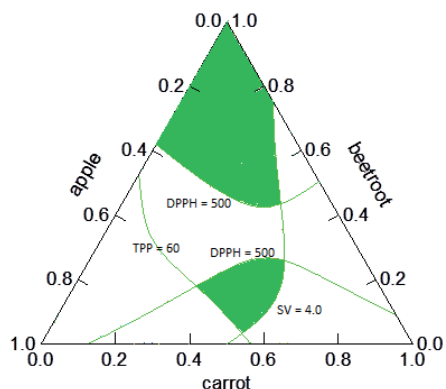


Рис. 8. Графическая оптимизация ингредиентов для приготовления морковного, свекольного и яблочного напитков

Выводы

Изучено сырье столовой свеклы, моркови и красного яблока, богатое биологически активными компонентами и вторичными мета-

болитами (полифенолами), для участия в разработке модельных экспериментальных образцов сока на основе фруктов и овощей.

Методом холодного отжима разработаны экспериментальные образцы однокомпонентных, двухкомпонентных и многокомпонентных напитков из перечисленного сырья. Характеристику разработанных образцов определяли в день их получения, проводя физико-химические, органолептические и спектральные тесты.

В результате полученных математических моделей: содержания общих полифенолов, антиоксидантной способности, оцененной путем определения антирадикальной активности (DPPH-тест), и органолептической оценки был оптимизирован состав разработанных экспериментальных образцов напитков на основе фруктов и овощей. Рекомендуются следующие соотношения компонентов: морковный морс — 50%, свекольный — от 75 до 100% и из красного яблока — от 0 до 40%.

REFERENCES

Benzie, I., Strain, J., (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berst, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 28, 25–30.

De Ketelaere, B., Goos, P., & Brijs, K. (2011). A predetermined combination of factors in the optimal design of experiments with variable mixture processes. *Food Quality and Preference*, 22 (7), 661–670.

Matsuura, FCAU, Folegatti, MID, Cardoso, L., & Ferreira, DC (2004). Sensory intake of mixed nectar from papaya, passion fruit and acerola. *Scientia Agricola*, 61 (6), 604–608.

Singleton, V., Rossi, J., (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic — phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* (50): 3828–3834.

Sobhana, A., Mathew, Ambili Appukutan, J., & Mredhula Raghavan, C. (2015). Mixing apple cashew juice with fruit juices and spices to improve nutritional and taste qualities. *Acta Horticulturae*, 1080 (1), 369–375.

Souza, VR, Pereira, PAP, Pinheiro, ACM, Nunes, CA, Silva, TLT, Borges, SV and Queiroz, F. (2012). Multiple approaches to optimize intake: optimize Brazilian Cerrado fruit jam using blend design and parallel factor analysis. *Journal of Sensory Research*, 27 (6), 417–424

Tahmouzi, S. (2016). Optimizing the Oxidative Stability, Color, and Sensory Properties of Raw (Nitrite-Free) Asian Hot Dogs (Jigo) Using the Surface Reaction Methodology (RSM). *Journal of Food Science and Technology*, 53 (1), 381–390. PMID: 26787957.

Zotarelli, MF, Zanatta, CL, Clemente, E. (2008). Avaliação de geleias mistas de goiaba e maracujá. *Revista Ceres*, 55 (6), 562–567.