

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Обзорная статья

УДК 664:004.89

Применение искусственного интеллекта в пищевой промышленности

Егор Геннадьевич Тимчук

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия, timchuk.eg@dgtru.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2473-2081>

Аннотация. Искусственный интеллект за последние несколько десятилетий воплотил новейшие технологии в пищевой промышленности в связи с ростом спроса на продукты питания из-за увеличения населения мира. Возможность применения этих интеллектуальных систем в различных областях: определение качества пищевых продуктов, применение в инструментах контроля продукции, как инструмент классификации пищевых продуктов и прогнозирование – усиливает их спрос в пищевой промышленности.

Рассматриваются эти интеллектуальные системы в сравнении их преимуществ и ограничений. Сформулировано руководство для выбора наиболее подходящих методов для улучшения будущих разработок, связанных с искусственным интеллектом в пищевой промышленности. Кроме того, подчеркивается важность интеграции этих систем с другими устройствами, такими, как электронный нос, электронный язык, система компьютерного зрения. Это принесет пользу как участникам отрасли, так и потребителям.

Ключевые слова: искусственный интеллект, пищевая промышленность, инструменты, методы, преимущества, ограничения

Для цитирования: Тимчук Е.Г. Применение искусственного интеллекта в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 61, № 3. С. 21–42.

FOOD SYSTEMS

Review article

Application of artificial intelligence in the food industry

Egor G. Timchuk

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia, timchuk.eg@dgtru.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2473-2081>

Abstract. Artificial intelligence over the past few decades has embodied the latest technologies in the food industry due to the growing demand for food due to the increase in the world's population. The possibility of using these intelligent systems in various fields, such as food quality determination, application in product control tools, as a food classification tool and for the purpose of forecasting, have increased their demand in the food industry.

Therefore, this article examines these intelligent systems in comparison of their advantages and limitations, and provides guidance for choosing the most appropriate methods to improve future

developments related to artificial intelligence in the food industry. In addition, the importance of integrating these systems with other devices such as electronic nose, electronic tongue, computer vision system, which will benefit both industry participants.

Keywords: artificial intelligence, food industry, tools, methods, advantages, limitations

For citation: Timchuk E.G. Application of artificial intelligence in the food industry. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2022;61(3): 21–42. (in Russ.).

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) определяется как область компьютерных наук, которая имитирует человеческие мыслительные процессы, способность к обучению и хранению знаний [1]. ИИ можно разделить на два типа: сильный ИИ и слабый ИИ.

Принцип слабого ИИ заключается в том, чтобы сконструировать машину так, чтобы она действовала как интеллектуальная единица, где она имитирует человеческие суждения, в то время как принцип сильного ИИ утверждает, что машина действительно может представлять человеческий разум [2]. Однако сильного ИИ пока не существует, и исследование этого ИИ все еще продолжается.

В число областей, в которых используются методы искусственного интеллекта, можно отнести игровую индустрию, тяжелую промышленность, перерабатывающую промышленность, пищевую промышленность, медицинскую промышленность, прогнозирование погоды, интеллектуальный анализ данных и применение стволовых клеток [3].

ИИ применяет разнообразные алгоритмы, такие, как: обучение, экспертная система, нечеткая логика, роевой интеллект, тест Тьюринга, когнитивная наука, искусственная нейронная сеть и логическое программирование [3]. Привлекательные характеристики ИИ сделали его наиболее подходящим инструментом для использования его в таких отраслях, как принятие решений и оценка процессов, направленных на общее снижение затрат, повышение качества и увеличение рентабельности [3].

В первую очередь применение ИИ в различных отраслях направлено на решение проблемы увеличения эффективности выполняемой деятельности, что непосредственным образом повлияет на рентабельность предприятий, задействованных в этих отраслях.

Цель работы: рекомендации по применению искусственного интеллекта в пищевой промышленности.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- анализ использования ИИ в разработках экспертных систем;
- анализ применения нечеткой логики в пищевой промышленности;
- анализ применения искусственных нейронных сетей в пищевой промышленности;
- анализ применения машинного обучения в пищевой промышленности;
- анализ применения адаптивной нейро-нечеткой системы вывода в пищевой промышленности;
- анализ применения электронного носа с искусственным интеллектом в пищевой промышленности;
- анализ применения электронного языка с искусственным интеллектом в пищевой промышленности;
- анализ применения машинного зрения с искусственным интеллектом в пищевой промышленности;
- разработка рекомендаций по применению ИИ в пищевой промышленности.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе провели использования ИИ в разработках экспертных систем, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Использование ИИ в разработках экспертных систем

Table 1

The use of artificial intelligence in the development of expert systems

Объект исследования	Цель	Контролируемая категория	Ссылка на источник
Белое вино	Контроль процесса ферментации	Контроль качества	Sipos [4]
Бананы	Выявление болезней и методов их устранения	Качество сырья	Budiyanto et al. [5]
Вино	Оценка экологичности виноградарства	Контроль качества	Lamastra et al. [6]
Кофе	Контроль и управление технологическим процессом сухого помола	Производство/контроль качества	Hernández-Vera et al. [7]
Кофейные зерна	Контроль качества зерен	Сенсорная оценка	Livio & Hodhod [8]
Кукуруза	Выявление вредителей и болезней	Качество сырья	Sumaryanti et al. [9]
Красное вино и ром	Прогнозирование аромата продукции	Сенсорная оценка/контроль качества	Nicolotti et al. [10]
Пищевые добавки	Определение степени халальности пищевой добавки	Контроль качества	Zakaria et al. [11]
Пищевые продукты	Мониторинг и прогнозирование качества продукции в производственном процессе	Контроль качества	Blagoveshchenskiy et al. [12]
Продукция животноводства	Мониторинг показателей животноводства	Качество сырья	Vásquez et al. [13]
Рисовые посевы	Выявление вредителей и болезней/ Сортировка зерен	Контроль качества	Kharisma et al. [14]
Соя	Выявление болезней	Контроль качества	Rajendra et al. [15]
Ячмень	Сортировка зерен	Контроль качества	Szturo, Szczypinski [16]

Исходя из представленных данных искусственный интеллект можно использовать для построения экспертных систем, осуществляющих контроль качества готовой продукции и поступающего сырья, контроля технологических процессов, в том числе на основе измерения сенсорных характеристик поступающего сырья и готовой продукции.

На втором этапе провели анализ применения нечеткой логики в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Применение нечеткой логики в пищевой промышленности

Table 2

Application of fuzzy logic in the food industry

Объект исследования	Цель	Алгоритм/Функция принадлежности	Ссылка на источник
Ананас Расгулла	Ранжирование по качественным параметрам	Такаги-Сугено-Кан/Треугольная	Sarkar et al. [17]
Ароматная продукция	Ранжирование упакованной ароматной продукции	Мамдани/Треугольная	Chowdhury, Das [18]
Белая шелковица	Улучшение процесса сушки	Мамдани/Треугольная	Jahedi Rad et al. [19]
Свекольная карамель	Ранжирование карамели в зависимости от состава	Мамдани/Треугольная	Fatma et al. [20]
Консервы	Управление температурой стерилизации	Мамдани/Треугольная	Chung et al. [21]
Кофе	Контроль и управление технологическим процессом сухого помола	Мамдани/Треугольная	Hernández-Vera et al. [7]
Кофейные зерна	Управление процессом обжарки зерен	Мамдани/Треугольная	Harsawardana et al. [22]
Кексы	Ранжирование в соответствии с качеством	Мамдани/Треугольная	Singh et al. [23]
Лук	Прогнозирование кинетики сушки	Мамдани/Треугольная	Jafari et al. [24]
Пицца	Улучшение производственной системы	Мамдани/Треугольная	Blasi [25]
Пшеничное тесто	Улучшение процесса раскатки	Мамдани/Треугольная	Mahadevappa et al. [26]
Семена льнянки	Ранжирование способов экстракции	Мамдани/Треугольная	Shahidi et al. [27]
Сок манго и личи	Определение влияния высокого давления на качество сока	Мамдани/Треугольная	Kaushik et al. [28]
Соль	Оценка производства	Такаги-Сугено-Кан/Треугольная	Yulianto et al. [29]
Сардины	Оценка качества рыбы по биогенным аминам	Мамдани/Треугольная	Zare & Ghazali [30]
Тесто	Управление процессом выпечки	Мамдани/Треугольная	Yousefi-Darani et al. [31]
Фасоль Фава	Прогнозирование физических параметров бобов с различным содержанием влаги	Мамдани/Треугольная	Farzaneh et al. [32]
Яблочный сок	Сенсорная оценка яблок	Мамдани/Треугольная	Basak [33]

В ходе построения экспертных систем, нейронных сетей и систем искусственного интеллекта исследователям приходится пользоваться приемами теории нечеткой логики, при этом анализ их работ показал, что в большинстве случаев авторы использовали алгоритмы Такаги-Сугено-Кан и Мамдани и треугольную функцию принадлежности. При этом не стоит забывать, что существуют и другие функции принадлежности: трапециевидные, кусочно-линейные, гауссовы, сигмоидные и др. Их выбор существенно влияет на результаты функционирования математического аппарата нечеткой логики и в большинстве случаев строится на основе практического опыта исследователя и интуиции.

На третьем этапе провели анализ применения искусственных нейронных сетей в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Применение искусственных нейронных сетей в пищевой промышленности

Table 3

Application of artificial neural networks in the food industry

Объект исследования	Цель	Тип искусственной нейронной сети	Ссылка на источник
1	2	3	4
Баклажан	Описание кинетики массообмена при осмотическом обезвоживании	Многослойный персептрон	Bahmani et al. [34]
Грибы	Предсказание содержания влаги в процессе сушки	Многослойный персептрон	Omari et al. [35]
Грибы	Прогнозирование температурных режимов грибной фермы	Многослойный персептрон/ Сеть радиально-базисных функций	Ardabili et al. [36]
Какао-порошок	Прогнозирование влияния технологических параметров на свойства какао-смесей	Многослойный персептрон	Benković et al. [37]
Картофельные кубики	Анализ качества продукции в процессе сушки в кипящем слое	Многослойный персептрон	Azadbakht et al. [38]
Картофельная кожура	Определение степени полезности кожуры	Многослойный персептрон	Anastácio et al. [39]
Лук	Оценка качества лука в процессе сушки	Многослойный персептрон	Jafari et al. [24]
Мед	Прогнозирование стабильности кристаллизации индийского меда при различных соотношениях компонентов	Многослойный персептрон	Naik et al. [40]
Манго	Оценка веса	Многослойный персептрон	Dang et al. [41]
Оливковое масло первого отжима	Оценка влияния условий воздействия света и упаковочного материала на стабильность физико-химических характеристик оливкового масла первого отжима	Многослойный персептрон	S. F. Silva et al. [42]
Плоды айвы	Оценка влажности продукции при сушке	Многослойный персептрон	Chasiotis et al. [43]
Рис	Урожайность риса	Многослойный персептрон	Gandhi et al. [44]

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Растительные масла	Классификация растительных масел	Многослойный перцептрон	Silva et al. [42]
Сушеная морковь	Определение качества сушеной моркови	Многослойный перцептрон	Koszela et al. [45]
Сосиски	Прогнозирование содержания бенз(а)пирена в процессе копчения	Многослойный перцептрон	Chen et al. [46]
Чеснок	Прогнозирование вкусовых качеств чеснока	Многослойный перцептрон	Liu et al. [47]

На четвертом этапе провели анализ применения машинного обучения в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Применение машинного обучения в пищевой промышленности

Table 4

Application of machine learning in the food industry

Объект исследования	Метод машинного обучения	Ссылка на источник
Артишок	Многослойный перцептрон, «случайный лес»	Sabater et al. [48]
Вино	Метод опорных векторов, многослойный перцептрон	Shaw et al. [49]
Пиво	Искусственная нейронная сеть	Claudia Gonzalez et al. [50]
Печенье	Сверточная нейронная сеть	De Sousa Silva et al. [51]
Сыр	Долгая краткосрочная память	Li et al. [52]
Лосось	Случайный лесной классификатор	Xu & Sun [53]
Мясо ягненка	Метод опорных векторов	Alaiz-Rodriguez & Parnell [54]
Манго	Наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов	Pise & Upadhye [55]
Мясо	Обычный метод наименьших квадратов, контролируемое обучение, метод опорных векторов	Estelles-Lopez et al. [56]
Молоко	Метод опорных векторов	Gutiérrez et al. [57]
Фрукты	Искусственная нейронная сеть, «случайный лес», метод опорных векторов	Astray et al. [58]
Яблоко	Линейный дискриминантный анализ, адаптивное усиление	Li et al. [59]

Построение ИИ невозможно без использования машинного обучения, в рассмотренных работах использовались следующие методы машинного обучения: случайный лес, метод опорных векторов, метод наименьших квадратов, наивный Байесовский классификатор, контролируемое обучение, линейный дискриминантный анализ. Выбор метода следует основывать на следующих критериях: размер, качество и характер данных, доступное вычислительное время, срочность решаемой задачи и поставленных целей.

На пятом этапе провели анализ применения адаптивной нейро-нечеткой системы вывода в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Применение адаптивной нейро-нечеткой системы вывода в пищевой промышленности
Table 5
Application of adaptive neuro-fuzzy inference system in the food industry

Объект исследования	Ссылка на источник
Апельсин	Mokarram et al. [60]
Батат	Ojediran et al. [61]
Мороженое	Bahram-Parvar et al. [62]
Овощи	Kaveh et al. [63]
Оливковое масло первого отжима	Arabameri et al. [64]
Плоды айвы	Abbaspour-Gilandeh et al. [65]
Рыбный жир	Asnaashari et al. [66]
Рапсовое масло	Farzaneh et al. [67]

На шестом этапе провели анализ применения электронного носа с искусственным интеллектом в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Применение электронного носа с искусственным интеллектом
в пищевой промышленности

Table 6

The use of an electronic nose with artificial intelligence in the food industry

Объект исследования	Цель	ИИ-технология	Ссылка на источник
Говядина	Классификация образцов говядины	Адаптивная нейро-нечеткая система вывода	Kodogiannis & Alshejari [68]
Какао	Классификация времени ферментации какао-бобов	Искусственная нейронная сеть, метод k-ближайших соседей	Tan et al. [69]
Кофейные зерна	Прогнозирование уровня кислотности обжаренных зерен	Искусственная нейронная сеть	Thazin et al. [70]
Куриное мясо	Классификация свежего и мороженого мяса	Нечеткий алгоритм k-ближайших соседей	Mirzaee-Ghaleh et al. [71]
Коровье топленое масло	Выявление фальсификации маргарина в коровьем топленом масле	Искусственная нейронная сеть	Ayari et al. [72]
Лимон	Прогнозирование качества лимона	Метод опорных векторов	Guo et al. [73]
Мед	Классификация меда	Искусственная нейронная сеть	Faal et al. [74]
Мясо свинины	Классификация свежего мяса и дефростированного	Нейронная сеть обратного распространения	Górska-Horczyczak et al. [75]
Рыба	Выявление и классификация порчи рыбы	Искусственная нейронная сеть	Vajdi et al. [76]

На седьмом этапе провели анализ применения электронного языка с искусственным интеллектом в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7

**Применение электронного языка с искусственным интеллектом
в пищевой промышленности**

Table 7

Application of an electronic tongue with artificial intelligence in the food industry

Объект исследования	Цель	ИИ-технология	Ссылка на источник
Арахисовая мука	Оценка вкусовых качеств готовой продукции	Искусственная нейронная сеть	Wang et al. [77]
Ананас	Классификация ананасов по вкусу	Искусственная нейронная сеть	Hasan et al. [78]
Ветчина	Контроль процесса посола	Упрощенная нейронная сеть с нечеткими графическими изображениями	Gil-Sánchez et al. [79]
Ликер	Классификация ликера	Метод опорных векторов	Jingjing et al. [80]
Мед	Классификация меда от количества антиоксидантов	Упрощенная нейронная сеть с нечеткими графическими изображениями	Marisol et al. [81]
Молоко	Выявление фальсификации молока	Метод опорных векторов	Tohidi et al. [82]
Рис	Классификация риса	Искусственная нейронная сеть	Wang et al. [83]
Сахарный тростник	Анализ содержания глюкозы	Искусственная нейронная сеть	De Sá et al. [84]

На восьмом этапе провели анализ применения машинного зрения с искусственным интеллектом в пищевой промышленности, результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

**Применение машинного зрения с искусственным интеллектом
в пищевой промышленности**

Table 8

Application of machine vision with artificial intelligence in the food industry

Объект исследования	Цель	ИИ-технология	Ссылка на источник
1	2	3	4
Бананы	Классификация продукции	Искусственная нейронная сеть	Mazen & Nashat [85]
Болгарский перец	Сортировка продукции	Искусственная нейронная сеть	Villaseñor-Aguilar et al. [86]
Кофейные зерна	Классификация продукции	Искусственная нейронная сеть	De Oliveira et al. [87]
Манго	Оценка массы мякоти	Искусственная нейронная сеть	Utai et al. [88]

Окончание табл. 8

1	2	3	4
Пиво	Прогнозирование качества продукции	Искусственная нейронная сеть	Gonzalez Viejo et al. [89]
Рыба	Определение свежести	Искусственная нейронная сеть	Huang et al. [90]
Сухие бобы	Сортировка продукции	Искусственная нейронная сеть	Koklu & Ozkan [91]
Яблоко	Сортировка продукции	Свёрточная нейронная сеть	Fan et al. [92]
Яйца	Прогнозирование объёма яиц	Искусственная нейронная сеть	Siswanto et al. [93]

Проблемой субъективизма измерения сенсорных характеристик пищевой продукции, таких, как запах, вкус и цвет занимаются долгое время множество ученых. Для решения этой проблемы разрабатываются такие средства измерений сенсорных характеристик, как электронный нос, электронный язык и машинное зрение. Но сами по себе средства измерений бесполезны без центра принятия решений, для этого используется ИИ.

Для целей использования электронного носа в рассмотренных работах применялись такие технологии ИИ, как: адаптивная нейро-нечеткая система вывода, искусственная нейронная сеть, метод k-ближайших соседей, искусственная нейронная сеть, нейронная сеть обратного распространения. Для целей использования электронного языка в рассмотренных работах применялись такие технологии ИИ, как: искусственная нейронная сеть, упрощенная нейронная сеть с нечеткими графическими изображениями, метод опорных векторов. Для целей использования машинного зрения в рассмотренных работах применялись такие технологии ИИ, как: искусственная нейронная сеть и свёрточная нейронная сеть. Нейронная сеть в связке со средствами измерений сенсорных характеристик позволит создать автоматические системы управления различными технологическими процессами, минимизируя влияние человеческого фактора на качество готовой пищевой продукции.

Вариантов построения системы ИИ в пищевой промышленности достаточно много, выбор того или иного варианта происходит на основе следующих критериев: цель разработки, наличие необходимых ресурсов (временных, человеческих и финансовых), размер, характер и качество имеющихся данных. Но особое внимание следует уделить оценке эффективности применения той или иной системы ИИ в конкретной области пищевой промышленности.

Заключение

Искусственный интеллект играет важную роль в пищевой промышленности для различных целей: моделирование, прогнозирование, оптимизация технологических процессов, инструмент управления, инструмент классификации и сортировки, основа сенсорной оценки, инструмент контроля качества, в том числе используя такие датчики, как электронный нос, язык и машинное зрение. Все это позволяет продвинуться в решении сложных проблем пищевой промышленности. Следует позаимствовать все лучшее в зарубежном опыте для развития отечественных разработок в области ИИ в пищевой промышленности.

Список источников

1. Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. М.: Радио и связь, 1992. 256 с. (дата обращения: 10.07.2022).

2. Hamet P., Tremblay J. (2017) Artificial intelligence in medicine. *Metabolism: Clinical and Experimental* 69, S36–S40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.
3. Nidhi Rajesh Mavani et al. (2021) Application of Artificial Intelligence in Food Industry - a Guideline *Food Engineering Reviews* (2022) 14:134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>.
4. Sipos A (2020) A knowledge-based system as a sustainable software application for the supervision and intelligent control of an alcoholic fermentation process. *Sustainability* 12(23):10205. <https://doi.org/10.3390/su122310205>.
5. Budiyanto G., Ipinuwati S., Al Gifari SA, Huda M., Jalal B., Abdul Latif A., Lia Hananto A. (2018) Web based expert system for diagnosing disease pest on banana plant. *Int J Eng Technol (UAE)* 7(4):4715–4721. <https://doi.org/10.14419/ijet>.
6. Lamastra L., Balderacchi M., Di Guardo A., Monchiero M., Trevisan M. (2016) A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. *Sci Total Environ* 572:724–733. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.043>.
7. Hernández-Vera B, Aguilar Lasserre AA, Gastón Cedillo-Campos M, Herrera-Franco LE, Ochoa-Robles J (2017a) Expert system based on fuzzy logic to define the production process in the coffee industry. *J Food Process Eng* 40(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12389>.
8. Livio J., Hodhod R. (2018) AI cupper: a fuzzy expert system for sensorial evaluation of coffee bean attributes to derive quality scoring. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 26(6):3418–3427. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2832611>.
9. Sumaryanti L., Istanto T., Pare S. (2020) Rule based method in expert system for detection pests and diseases of corn. *J Phys Conf Ser* 1569(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022023>.
10. Nicolotti L., Mall V., Schieberle P. (2019) Characterization of key aroma compounds in a commercial rum and an Australian red wine by means of a new Sensomics-Based Expert System (SEBES) – an approach to use artificial intelligence in determining food odor codes. *J Agric Food Chem* 67(14):4011–4022. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00708>.
11. Zakaria MZ., Nordin N., Malik AMA, Elias SJ., Shahuddin AZ. (2019) Fuzzy expert systems (FES) for halal food additive. *Indones J Electr Eng Comput Sci* 13(3):1073–1078. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.vol.13.i.3.p.1073-1078>.
12. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E.M., Sumerin V.A. (2020) Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. *J Phys Conf Ser* 1705(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012019>.
13. Vásquez R.P., Aguilar-Lasserre A.A., López-Segura M.V., Rivero L.C., Rodríguez-Duran A.A., Rojas-Luna M.A. (2019) Expert system based on a fuzzy logic model for the analysis of the sustainable livestock production dynamic system. *Comput Electron Agric* 161(January):104–120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.015>.
14. Kharisma Adi K., Isnanto R.R. (2020) Rice crop management expert system with forwarding chaining method and certainty factor. *J Phys Conf Ser* 1524(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012037>.
15. Rajendra L., Azani H., Much I., Subroto I., Marwanto A. (2017) Expert system on soybean disease using knowledge representation method. *Telemat Inform* 5(1):36–46. <https://doi.org/10.12928/jti.v5i1>.
16. Szturo K, Szczypinski P.M. (2017) Ontology based expert system for barley grain classification. *Signal Processing – Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Conference Proceedings, SPA, 2017-Sept*:360–364. <https://doi.org/10.23919/SPA.2017.8166893>.
17. Sarkar T., Bhattacharjee R., Salauddin M., Giri A., Chakraborty R. (2020) Application of fuzzy logic analysis on pineapple Rasgulla. *Procedia Computer Science* 167(2019):779–787. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.410>.

18. Chowdhury T., Das M. (2015) Sensory evaluation of aromatic foods packed in developed starch based films using fuzzy logic. *International Journal of Food Studies* 4(1):29–48. <https://doi.org/10.7455/ijfs.v4i1.228>.
19. Jahedi Rad S., Kaveh M., Sharabiani V.R., Taghinezhad E. (2018) Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat Mass Transf* 54(11):3361–3374. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2377-4>.
20. Fatma S., Sharma N., Singh S.P., Jha A., Kumar A. (2016) Fuzzy analysis of sensory data for ranking of beetroot candy. *Int J Food Eng* 2(1):26–30. <https://doi.org/10.18178/ijfe.2.1.26-30>.
21. Chung C.C., Chen H.H., Ting C.H. (2016) Fuzzy logic for accurate control of heating temperature and duration in canned food sterilisation. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 9(2):187–194. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2015.11.003>.
22. Harsawardana Samodro B., Mahesworo B., Suparyanto T., Surya Atmaja D.B., Pardamean B. (2020) Maintaining the quality and aroma of coffee with fuzzy logic coffee roasting machine. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 426(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012148>.
23. Singh V., Kumar S., Singh J., Rai A.K. (2018) Fuzzy logic sensory evaluation of cupcakes developed from the Mahua flower (*Madhuca Longifolia*). *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 5(1):411–421.
24. Jafari S.M., Ganje M., Dehnad D., Ghanbari V. (2016) Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. *J Food Process Preserv* 40(2):329–339. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12610>.
25. Blasi A. (2018) Scheduling food industry system using fuzzy logic. *J Theor Appl Inf Technol* 96(19):6463–6473.
26. Mahadevappa J., Groß F., Delgado A. (2017) Fuzzy logic based process control strategy for effective sheeting of wheat dough in small and medium-sized enterprises. *J Food Eng* 199:93–99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.013>.
27. Shahidi B., Sharifi A., Roozbeh Nasiraie L., Niakousari M., Ahmadi M. (2020) Phenolic content and antioxidant activity of flixweed (*Descurainia sophia*) seeds extracts: ranking extraction systems based on fuzzy logic method. *Sustain Chem Pharm* 16(March).
28. Kaushik N., Gondi A.R., Rana R., Srinivasa Rao P. (2015) Application of fuzzy logic technique for sensory evaluation of high pressure processed mango pulp and litchi juice and its comparison to thermal treatment. In *Innov Food Sci Emerg* (Vol. 32). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.007>.
29. Yulianto T., Komariyah S., Ulfaniyah N. (2017) Application of fuzzy inference system by Sugeno method on estimating of salt production AIP Conf Proc 1867 <https://doi.org/10.1063/1.4994442>.
30. Zare D., Ghazali H.M. (2017) Assessing the quality of sardine based on biogenic amines using a fuzzy logic model. *Food Chem* 221(November):936–943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.071>.
31. Yousefi-Darani A., Paquet-Durand O., Hitzmann B. (2019) Application of fuzzy logic control for the dough proofing process. *Food Bioprod Process* 115:36–46. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.02.006>.
32. Farzaneh V., Bakhshabadi H., Gharekhani M., Ganje M., Farzaneh F., Rashidzadeh S., Carvalho S.I. (2017) Application of an adaptive neuro_fuzzy inference system (ANFIS) in the modeling of rapeseeds' oil extraction. *J Food Process Eng* 40(6):1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12562>.
33. Basak S. (2018) The use of fuzzy logic to determine the concentration of betel leaf essential oil and its potency as a juice preservative. *Food Chem* 240(August 2017): 1113–1120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.047>.
34. Bahmani A., Jafari S.M., Shahidi S-A., Dehnad D. (2015) Mass transfer kinetics of eggplant during osmotic dehydration by neural networks. *J Food Process Preserv* 1:1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12435>.

35. Omari A., Behrooz-Khazaei N., Sharifian F. (2018) Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer. *J Food Process Eng* 41(7):1–10. [https:// doi. org/ 10. 1111/ jfpe. 12849](https://doi.org/10.1111/jfpe.12849).
36. Ardabili S., Mosavi A., Mahmoudi A., Gundoshmian Tarahom Mesri Nosratabadi S., Várkonyi-Kóczy A.R. (2020) Modelling temperature variation of mushroom growing hall using artificial neural networks. In *J Sustain Dev* (101). Springer, Cham. [https:// doi. org/ 10. 1007/ 978-3-030-36841-8-10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36841-8-10).
37. Benković M., Tušek A.J., Belščak-Cvitanović A., Lenart A., Domian E., Komes D., Bauman I. (2015) Artificial neural network modelling of changes in physical and chemical properties of cocoa powder mixtures during agglomeration. *LWT Food Sci Technol* 64(1):140–148. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. lwt. 2015. 05. 028](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.028).
38. Azadbakht M., Aghili H., Ziaratban A., Torshizi M.V. (2017) Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy* 120:947–958. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. energy. 2016. 12. 006](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.006).
39. Anastácio A., Silva R., Carvalho I.S. (2016) Phenolics extraction from sweet potato peels: modelling and optimization by response surface modelling and artificial neural network. *J Food Sci Technol* 53(12):4117–4125. [https:// doi. org/ 10. 1007/ s13197- 016- 2354-1](https://doi.org/10.1007/s13197-016-2354-1).
40. Naik R.R., Gandhi N.S., Thakur M., Nanda V. (2019) Analysis of crystallization phenomenon in Indian honey using molecular dynamics simulations and artificial neural network. *Food Chem* 300(1):125182. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. foodc hem. 2019. 125182](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125182).
41. Dang N.T., Vo M.T., Nguyen T.D., Dao SVT. (2019) Analysis on mangoes weight estimation problem using neural network. *Proceedings – 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2019*, i, 559–562. [https:// doi. org/ 10. 1109/ ISCIT. 2019. 89051 18](https://doi.org/10.1109/ISCIT.2019.8905118).
42. Silva S.F., Anjos CAR., Cavalcanti R.N., Celeghini RMDS. (2015) Evaluation of extra virgin olive oil stability by artificial neural network. *Food Chem* 179:35–43. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. foodc hem. 2015. 01. 100](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.100).
43. Chasiotis V.K., Tzempelikos D.A., Filios A.E., Moustiris K.P. (2020) Artificial neural network modelling of moisture content evolution for convective drying of cylindrical quince slices. *Comput Electron Agric* 172(June):105074. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. compag. 2019. 105074](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105074).
44. Gandhi N., Petkar O., Armstrong L.J. (2016) Rice crop yield prediction using artificial neural networks. *Proceedings – 2016 IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development, TIAR 2016*, 105–110. [https:// doi. org/ 10. 1109/ TIAR. 2016. 78012 22](https://doi.org/10.1109/TIAR.2016.7801222).
45. Koszela K., Łukomski M., Mueller W., Górna K., Okoń P., Boniecki P., Zaborowicz M., Wojcieszak D. (2017) Classification of dried vegetables using computer image analysis and artificial neural networks. *Ninth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2017)*, 10420(Icdip), 1042031. [https:// doi. org/ 10. 1117/ 12. 22817 18](https://doi.org/10.1117/12.2281718).
46. Chen Y., Cai K., Tu Z., Nie W., Ji T., Hu B., Chen C. (2018) Prediction of benzo[a]pyrene content of smoked sausage using back-propagation artificial neural network. *J Sci Food Agr* 98(8):3032–3030. [https:// doi. org/ 10. 1002/ jsfa. 8801](https://doi.org/10.1002/jsfa.8801).
47. Liu J., Liu L., Guo W., Fu M., Yang M., Huang S., Zhang F., Liu Y. (2019) A new methodology for sensory quality assessment of garlic based on metabolomics and an artificial neural network. *RSC Adv* 9(31):17754–17765. [https:// doi. org/ 10. 1039/ c9ra0 1978b](https://doi.org/10.1039/c9ra01978b).
48. Sabater C., Olano A., Corzo N., Montilla A. (2019) GC–MS characterisation of novel artichoke (*Cynara scolymus*) pecticoligosaccharides mixtures by the application of machine learning algorithms and competitive fragmentation modelling. *Carbohydr Polym* 205:513–523. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. carbp ol. 2018. 10. 054](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.054).
49. Shaw B., Suman A.K., Chakraborty B. (2020) Wine quality analysis using machine learning. In J. K. Mandal & D. Bhattacharya (Eds.), *Emerging Technology in Modelling and Graphics* 239–247. Springer Singapore.

50. Claudia Gonzalez FRV, Sigfredo F., Damir T., Kate H., Dunshea. (2017) Assessment of beer quality based on foamability and chemical composition using computer vision algorithms, near infrared spectroscopy and machine learning algorithms. *J Sci Food Agr* 1–39. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8506>.
51. De Sousa Silva M., Cruz L.F., Bugatti P.H., Saito PTM. (2020) Automatic visual quality assessment of biscuits using machine learning. In L. Rutkowski, M. Scherer Rafałand Korytkowski, W. Pedrycz, R. Tadeusiewicz, & J. M. Zurada (Eds.), *J Artif Intell Soft* (pp. 59–70). Springer International Publishing.
52. Li B., Lin Y., Yu W., Wilson D.I., Young B.R. (2020) Application of mechanistic modeling and machine learning for cream cheese fermentation pH prediction. *J Chem Technol Biotechnol*. <https://doi.org/10.1002/jctb.6517>.
53. Xu J.L., Sun D.W. (2017) Identification of freezer burn on frozen salmon surface using hyperspectral imaging and computer vision combined with machine learning algorithm d'apprentissage automatique. *Int J Refrig* 74:149–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.10.014>.
54. Alaiz-Rodriguez R., Parnell A.C. (2020) A machine learning approach for lamb meat quality assessment using FTIR spectra. *IEEE Access* 8:52385–52394. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2974623>.
55. Pise D., Upadhye G.D. (2018) Grading of harvested mangoes quality and maturity based on machine learning techniques. 2018 Int Conf Smart City Emerg Technol ICSCET 2018 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537342>.
56. Estelles-Lopez L., Ropodi A, Pavlidis D., Fotopoulou J., Gkousari C., Peyrodie A., Panagou E., Nychas G.J., Mohareb F. (2017) An automated ranking platform for machine learning regression models for meat spoilage prediction using multi-spectral imaging and metabolic profiling. *Food Res Int* 99:206–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.013>.
57. Gutiérrez P., Godoy S.E., Torres S., Oyarzún P., Sanhueza I., Díaz-García V., Contreras-Trigo B., Coelho P. (2020) Improved antibiotic detection in raw milk using machine learning tools over the absorption spectra of a problem-specific nanobiosensor. *Sensors (Switzerland)* 20(16):1–13. <https://doi.org/10.3390/s20164552>.
58. Astray G., Albuquerque B.R., Prieto M.A., Simal-Gandara J., Ferreira ICFR, Barros L. (2020) Stability assessment of extracts obtained from *Arbutus unedo* L. fruits in powder and solution systems using machine-learning methodologies. *Food Chem* 333(January) 127460. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127460>.
59. Li M., Ekramirad N., Rady A., Adedeji A. (2018) Application of acoustic emission and machine learning to detect codling moth infested apples. *ASABE* 61(3):1157–1164. <https://doi.org/10.13031/trans.125481157>.
60. Mokarram M., Amin H., Khosravi M.R. (2019) Using adaptive neuro-fuzzy inference system and multiple linear regression to estimate orange taste. *Food Sci Nutr* 7(10):3176–3184. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1149>.
61. Ojediran J.O., Okonkwo C.E., Adeyi A.J., Adeyi O., Olaniran A.F., George N.E., Olayanju A.T. (2020) Drying characteristics of yam slices (*Dioscorea rotundata*) in a convective hot air dryer: application of ANFIS in the prediction of drying kinetics. *Heliyon* 6(3):e03555. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03555>.
62. Bahram-Parvar M., Salehi F., Razavi SMA. (2017) Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) simulation for predicting overall acceptability of ice cream. *EAEF* 10(2):79–86. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2016.11.001>.
63. Kaveh M., Rasooli Sharabiani V., Amiri Chayjan R., Taghinezhad E., Abbaspour-Gilandeh Y., Golpour I. (2018) ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer. *Information Processing in Agriculture* 5(3):372–387. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.003>.

64. Arabameri M., Nazari R.R., Abdolshahi A., Abdollahzadeh M., Mirzamohammadi S., Shariatifar N., Barba F.J., Mousavi Khaneghah A. (2019) Oxidative stability of virgin olive oil: evaluation and prediction with an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *J Sci Food Agric* 99(12):5358–5367. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9777>.
65. Abbaspour-Gilandeh Y., Jahanbakhshi A., Kaveh M. (2020) Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Sci Nutr* 8(1):594–611. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1347>.
66. Asnaashari M., Farhoosh R., Farahmandfar R. (2016) Prediction of oxidation parameters of purified Kilka fish oil including gallic acid and methyl gallate by adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network. *J Sci Food Agric* 96(13):4594–4602. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7677>.
67. Farzaneh V., Bakhshabadi H., Gharekhani M., Ganje M., Farzaneh F., Rashidzadeh S., Carvalho S.I. (2017) Application of an adaptive neuro_fuzzy inference system (ANFIS) in the modeling of rapeseeds' oil extraction. *J Food Process Eng* 40(6):1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12562>.
68. Kodogiannis V.S., Alshejari A. (2016) Neuro-fuzzy based identification of meat spoilage using an electronic nose. 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, IS 2016 - Proceedings, 96–103. <https://doi.org/10.1109/IS.2016.7737406>.
69. Tan J, Balasubramanian B., Sukha D., Ramkissoon S., Umaharan P. (2019) Sensing fermentation degree of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans by machine learning classification models based electronic nose system. *J Food Process Eng* 42(6):1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13175>.
70. Thazin Y., Pobkrut T., Kerdcharoen T. (2018) Prediction of acidity levels of fresh roasted coffees using E-nose and artificial neural network. 2018 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology: Cybernetics in the Next Decades, KST 2018, 210–215. <https://doi.org/10.1109/KST.2018.8426206>.
71. Mirzaee-Ghaleh E., Taheri-Garavand A., Ayari F., Lozano J. (2020) Identification of fresh-chilled and frozen-thawed chicken meat and estimation of their shelf life using an E-nose machine coupled fuzzy KNN. *Food Anal Methods* 13(3):678–689. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01682-6>.
72. Ayari F., Mirzaee- Ghaleh E., Rabbani H., Heidarbeigi K. (2018) Using an E-nose machine for detection the adulteration of margarine in cow ghee. *J Food Process Eng* 41(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12806>.
73. Guo T., Yin T., Ma Z., Wang Z., Sun X., Yuan W. (2018) Characterization of different processes lemon slice using electronic tongue. *IFAC-PapersOnLine* 51(17):683–688. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.117>.
74. Faal S., Loghavi M., Kamgar S. (2019) Physicochemical properties of Iranian ziziphus honey and emerging approach for predicting them using electronic nose. *Meas.: J Int Meas Confed* 148, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106936>.
75. Górska-Horczyzak E., Horczyzak M., Guzek D., Wojtasik-Kalinowska I., Wierzbicka A. (2016) Chromatographic fingerprints supported by artificial neural network for differentiation of fresh and frozen pork. *Food Control* 73:237–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.08.010>.
76. Vajdi M., Varidi M.J., Varidi M., Mohebbi M. (2019) Using electronic nose to recognize fish spoilage with an optimum classifier. *Journal of Food Measurement and Characterization* 13(2):1205–1217. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00036-4>.
77. Wang L., Niu Q., Hui Y., Jin H. (2015) Discrimination of rice with different pretreatment methods by using a voltammetric electronic tongue. *Sensors* 15(7):17767–17785. <https://doi.org/10.3390/s150717767>.
78. Hasan M.A., Sarno R., Sabilla S.I. (2020) Optimizing machine learning parameters for classifying the sweetness of pineapple aroma using electronic nose. *Int J Intell Syst* 13(5):122–132. <https://doi.org/10.22266/ijies2020.1031.12>.

79. Gil-Sánchez L., Garrigues J., Garcia-Breijo E., Grau R., Aliño M., Baigts D., Barat J.M. (2015) Artificial neural networks (Fuzzy ARTMAP) analysis of the data obtained with an electronic tongue applied to a ham-curing process with different salt formulations. *Applied Soft Computing Journal* 30:421–429. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.12.037>.
80. Jingjing H.L., Mingxu Z., Low Sze Shin Xu Ning, Chen Zhiqing LV, Chuang Cui Ying, Shi Yan and Men. (2020) Fuzzy evaluation output of taste information for liquor using electronic tongue based on cloud model. *Sensors* 20(3):1–20. <https://doi.org/10.3390/s20030686>.
81. Marisol IJ-B., Luiz G-S., Ana P-M., Escriche. (2017) Antioxidant activity and physico-chemical parameters for the differentiation of honey using a potentiometric electronic tongue. *J Sci Food Agr* 97(7):2215–2222. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8031>.
82. Tohidi M., Ghasemi-Varnamkhasi M., Ghafarinia V., Bonyadian M., Mohtasebi S.S. (2018) Development of a metal oxide semiconductorbased artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. *Int Dairy J* 77:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.idair.yj.2017.09.003>.
83. Wang L., Niu Q., Hui Y., Jin H. (2015) Discrimination of rice with different pretreatment methods by using a voltammetric electronic tongue. *Sensors* 15(7):17767–17785. <https://doi.org/10.3390/s150717767>.
84. De Sá A.C., Cipri A., González-Calabuig A., Stradiotto N.R., Del Valle M. (2016) Resolution of galactose, glucose, xylose and mannose in sugarcane bagasse employing a voltammetric electronic tongue formed by metals oxy-hydroxide/MWCNT modified electrodes. *Sens Actuators, B Chem* 222:645–653. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.08.088>
85. Mazen FMA, Nashat A.A. (2019) Ripeness classification of bananas using an artificial neural network. *Arab J Sci Eng* 44(8):6901–6910. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-03695-5>.
86. Villaseñor-Aguilar M.J., Bravo-Sánchez M.G., Padilla-Medina J.A., Vázquez-Vera J.L., Guevara-González R.G., García-Rodríguez F.J., Barranco-Gutiérrez A.I. (2020) A maturity estimation of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) by artificial vision system for quality control. *Appl Sci (Switzerland)* 10(15):1–18. <https://doi.org/10.3390/app10155097>.
87. De Oliveira E.M., Leme D.S., Barbosa BHG., Rodarte M.P., Alvarenga Pereira RGF. (2016) A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *J Food Eng* 171:22–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.009>.
88. Utai K., Nagle M., Hämmerle S., Spreer W., Mahayothee B., Müller J. (2019) Mass estimation of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Nam Dokmai’) by linking image processing and artificial neural network. *Eng Agric Environ Food* 12(1):103–110. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.10.003>.
89. Gonzalez Viejo C., Torrico D.D., Dunshea F.R., Fuentes S. (2019) Development of artificial neural network models to assess beer acceptability based on sensory properties using a robotic pourer: a comparative model approach to achieve an artificial intelligence system. *Beverages* 5(2):33. <https://doi.org/10.3390/beverages5020033>.
90. Huang X., Xu H., Wu L., Dai H., Yao L., Han F. (2016) A data fusion detection method for fish freshness based on computer vision and near-infrared spectroscopy. *Anal Methods* 8(14):2929–2935. <https://doi.org/10.1039/c5ay03005f>.
91. Koklu M., Ozkan I.A. (2020) Multiclass classification of dry beans using computer vision and machine learning techniques. *Comput Electron Agric* 174(June 2019):105507. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105507>.
92. Fan S., Li J., Zhang Y., Tian X., Wang Q., He X., Zhang C., Huang W. (2020) On line detection of defective apples using computer vision system combined with deep learning methods. *J Food Eng* 286:110102. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110102>.
93. Siswantoro J., Hilman M.Y., Widiarsi M. (2017) Computer vision system for egg volume prediction using backpropagation neural network. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 273:2–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/273/1/012002>

References

1. Averkin A.N., Haase-Rapoport M.G., Pospelov D.A. Explanatory dictionary of artificial intelligence. M.:Radio and Communications, 1992. 256 p. (date of application: 10.07.2022).
2. Hamet P., Tremblay J. (2017) Artificial intelligence in medicine. *Metabolism: Clinical and Experimental* 69, S36–S40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.
3. Nidhi Rajesh Mavani et al. (2021) Application of Artificial Intelligence in Food Industry - a Guideline *Food Engineering Reviews* (2022) 14:134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>.
4. Sipos A. (2020) A knowledge-based system as a sustainable software application for the supervision and intelligent control of an alcoholic fermentation process. *Sustainability* 12(23):10205. <https://doi.org/10.3390/su122310205>.
5. Budiyo G., Ipinuwati S., Al Gifari S.A., Huda M., Jalal B., Abdul Latif A., Lia Hananto A. (2018) Web based expert system for diagnosing disease pest on banana plant. *Int J Eng Technol (UAE)* 7(4):4715–4721. <https://doi.org/10.14419/ijet.2018.070403>.
6. Lamastra L., Balderacchi M., Di Guardo A., Monchiero M., Trevisan M. (2016) A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. *Sci Total Environ* 572:724–733. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.043>.
7. Hernández-Vera B., Aguilar Lasserre A.A., Gastón Cedillo-Campos M., Herrera-Franco L.E., Ochoa-Robles J. (2017a) Expert system based on fuzzy logic to define the production process in the coffee industry. *J Food Process Eng* 40(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12389>.
8. Livio J., Hodhod R. (2018) AI cupper: a fuzzy expert system for sensorial evaluation of coffee bean attributes to derive quality scoring. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 26(6):3418–3427. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2832611>.
9. Sumaryanti L., Istanto T., Pare S. (2020) Rule based method in expert system for detection pests and diseases of corn. *J Phys Conf Ser* 1569(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022023>.
10. Nicolotti L., Mall V., Schieberle P. (2019) Characterization of key aroma compounds in a commercial rum and an Australian red wine by means of a new Sensomics-Based Expert System (SEBES) - an approach to use artificial intelligence in determining food odor codes. *J Agric Food Chem* 67(14):4011–4022. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00708>.
11. Zakaria M.Z., Nordin N., Malik AMA., Elias SJ, Shahuddin AZ (2019) Fuzzy expert systems (FES) for halal food additive. *Indones J Electr Eng Comput Sci* 13(3):1073–1078. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v13.i3.p.1073-1078>.
12. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E.M., Sumerin V.A. (2020) Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. *J Phys Conf Ser* 1705(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012019>.
13. Vásquez R.P., Aguilar-Lasserre A.A., López-Segura M.V., Rivero L.C., Rodríguez-Duran A.A., Rojas-Luna M.A. (2019) Expert system based on a fuzzy logic model for the analysis of the sustainable livestock production dynamic system. *Comput Electron Agric* 161(January):104–120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.015>.
14. Kharisma Adi K., Isnanto R.R. (2020) Rice crop management expert system with forward-chaining method and certainty factor. *J Phys Conf Ser* 1524(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1524/1/012037>.
15. Rajendra L., Azani H., Much I., Subroto I., Marwanto A. (2017) Expert system on soybean disease using knowledge representation method. *Telemat Inform* 5(1):36–46. <https://doi.org/10.12928/jti.v5i1>.
16. Szturo K., Szczypinski P.M. (2017) Ontology based expert system for barley grain classification. *Signal Processing – Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Conference Proceedings, SPA, 2017-Sept*:360–364. <https://doi.org/10.23919/SPA.2017.8166893>.

17. Sarkar T., Bhattacharjee R., Salauddin M., Giri A., Chakraborty R. (2020) Application of fuzzy logic analysis on pineapple Rasgulla. *Procedia Computer Science* 167(2019):779–787. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.410>.
18. Chowdhury T., Das M. (2015) Sensory evaluation of aromatic foods packed in developed starch based films using fuzzy logic. *International Journal of Food Studies* 4(1):29–48. <https://doi.org/10.7455/ijfs.v4i1.228>.
19. Jahedi Rad S., Kaveh M., Sharabiani V.R., Taghinezhad E. (2018) Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat Mass Transf* 54(11):3361–3374. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2377-4>.
20. Fatma S., Sharma N., Singh S.P., Jha A., Kumar A. (2016) Fuzzy analysis of sensory data for ranking of beetroot candy. *Int J Food Eng* 2(1):26–30. <https://doi.org/10.18178/ijfe.2.1.26-30>.
21. Chung C.C., Chen H.H., Ting C.H. (2016) Fuzzy logic for accurate control of heating temperature and duration in canned food sterilisation. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 9(2):187–194. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2015.11.003>.
22. Harsawardana Samodro B., Mahesworo B., Suparyanto T., Surya Atmaja D.B., Pardamean B. (2020) Maintaining the quality and aroma of coffee with fuzzy logic coffee roasting machine. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 426(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012148>.
23. Singh V., Kumar S., Singh J., Rai A.K. (2018) Fuzzy logic sensory evaluation of cupcakes developed from the Mahua flower (*Madhuca Longifolia*). *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 5(1):411–421.
24. Jafari S.M., Ganje M., Dehnad D., Ghanbari V. (2016) Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. *J Food Process Preserv* 40(2):329–339. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12610>.
25. Blasi A. (2018) Scheduling food industry system using fuzzy logic. *J Theor Appl Inf Technol* 96(19):6463–6473.
26. Mahadevappa J., Groß F., Delgado A. (2017) Fuzzy logic based process control strategy for effective sheeting of wheat dough in small and medium-sized enterprises. *J Food Eng* 199:93–99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.013>.
27. Shahidi B., Sharifi A., Roozbeh Nasiraie L., Niakousari M., Ahmadi M. (2020) Phenolic content and antioxidant activity of flaxseed (*Descurainia sophia*) seeds extracts: ranking extraction systems based on fuzzy logic method. *Sustain Chem Pharm* 16(March).
28. Kaushik N., Gondi A.R., Rana R., Srinivasa Rao P. (2015) Application of fuzzy logic technique for sensory evaluation of high pressure processed mango pulp and litchi juice and its comparison to thermal treatment. In *Innov Food Sci Emerg* (Vol. 32). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.007>.
29. Yulianto T., Komariyah S., Ulfaniyah N. (2017) Application of fuzzy inference system by Sugeno method on estimating of salt production AIP Conf Proc 1867 <https://doi.org/10.1063/1.4994442>.
30. Zare D., Ghazali H.M. (2017) Assessing the quality of sardine based on biogenic amines using a fuzzy logic model. *Food Chem* 221(November):936–943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.071>.
31. Yousefi-Darani A., Paquet-Durand O., Hitzmann B. (2019) Application of fuzzy logic control for the dough proofing process. *Food Bioprod Process* 115:36–46. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.02.006>.
32. Farzaneh V., Bakhshabadi H., Gharekhani M., Ganje M., Farzaneh F., Rashidzadeh S., Carvalho S.I. (2017) Application of an adaptive neuro_fuzzy inference system (ANFIS) in the modeling of rapeseeds' oil extraction. *J Food Process Eng* 40(6):1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12562>.
33. Basak S. (2018) The use of fuzzy logic to determine the concentration of betel leaf essential oil and its potency as a juice preservative. *Food Chem* 240(August 2017): 1113–1120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.047>.

34. Bahmani A., Jafari S.M., Shahidi S-A., Dehnad D. (2015) Mass transfer kinetics of eggplant during osmotic dehydration by neural networks. *J Food Process Preserv* 1:1–13. [https:// doi. org/ 10.1111/ jfpp. 12435](https://doi.org/10.1111/jfpp.12435).
35. Omari A., Behroozi-Khazaei N., Sharifian F. (2018) Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer. *J Food Process Eng* 41(7):1–10. [https:// doi. org/ 10. 1111/ jfpe. 12849](https://doi.org/10.1111/jfpe.12849).
36. Ardabili S., Mosavi A., Mahmoudi A., Gundoshmian Tarahom Mesri Nosratabadi S., Várkonyi-Kóczy A.R. (2020) Modelling temperature variation of mushroom growing hall using artificial neural networks. In *J Sustain Dev* (101). Springer, Cham. [https:// doi. org/ 10. 1007/ 978-3- 030- 36841-8-10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36841-8-10).
37. Benković M., Tušek A.J., Belščak-Cvitanović A., Lenart A., Domian E., Komes D., Bauman I. (2015) Artificial neural network modelling of changes in physical and chemical properties of cocoa powder mixtures during agglomeration. *LWT Food Sci Technol* 64(1):140–148. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. lwt. 2015. 05. 028](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.028).
38. Azadbakht M., Aghili H., Ziaratban A., Torshizi M.V. (2017) Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy* 120:947–958. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. energy. 2016. 12. 006](https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.006).
39. Anastácio A., Silva R., Carvalho I.S. (2016) Phenolics extraction from sweet potato peels: modelling and optimization by response surface modelling and artificial neural network. *J Food Sci Technol* 53(12):4117–4125. [https:// doi. org/ 10. 1007/ s13197- 016- 2354-1](https://doi.org/10.1007/s13197-016-2354-1).
40. Naik R.R., Gandhi N.S., Thakur M., Nanda V. (2019) Analysis of crystallization phenomenon in Indian honey using molecular dynamics simulations and artificial neural network. *Food Chem* 300(1):125182. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. foodc hem. 2019. 125182](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125182).
41. Dang N.T., Vo M.T., Nguyen T.D., Dao SVT. (2019) Analysis on mangoes weight estimation problem using neural network. *Proceedings – 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2019*, i, 559–562. [https:// doi. org/ 10. 1109/ ISCIT. 2019. 89051 18](https://doi.org/10.1109/ISCIT.2019.8905118).
42. Silva S.F., Anjos CAR., Cavalcanti R.N., Celeghini RMDS. (2015) Evaluation of extra virgin olive oil stability by artificial neural network. *Food Chem* 179:35–43. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. foodc hem. 2015. 01. 100](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.100).
43. Chasiotis V.K., Tzempelikos D.A., Filios A.E., Moustiris K.P. (2020) Artificial neural network modelling of moisture content evolution for convective drying of cylindrical quince slices. *Comput Electron Agric* 172(June):105074. [https:// doi. org/ 10. 1016/ j. compag. 2019. 105074](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105074).
44. Gandhi N., Petkar O., Armstrong L.J. (2016) Rice crop yield prediction using artificial neural networks. *Proceedings – 2016 IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development, TIAR 2016*, 105–110. [https:// doi. org/ 10. 1109/ TIAR. 2016. 78012 22](https://doi.org/10.1109/TIAR.2016.7801222).
45. Koszela K., Łukomski M., Mueller W., Górna K., Okoń P., Boniecki P., Zaborowicz M., Wojcieszak D. (2017) Classification of dried vegetables using computer image analysis and artificial neural networks. *Ninth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2017)*, 10420(Icdip), 1042031. [https:// doi. org/ 10. 1117/ 12. 22817 18](https://doi.org/10.1117/12.2281718).
46. Chen Y., Cai K., Tu Z., Nie W., Ji T., Hu B., Chen C. (2018) Prediction of benzo[a]pyrene content of smoked sausage using back-propagation artificial neural network. *J Sci Food Agr* 98(8):3032–3030. [https:// doi. org/ 10. 1002/ jsfa. 8801](https://doi.org/10.1002/jsfa.8801).
47. Liu J., Liu L., Guo W., Fu M., Yang M., Huang S., Zhang F., Liu Y. (2019) A new methodology for sensory quality assessment of garlic based on metabolomics and an artificial neural network. *RSC Adv* 9(31):17754–17765. [https:// doi. org/ 10. 1039/ c9ra0 1978b](https://doi.org/10.1039/c9ra01978b).
48. Sabater C., Olano A., Corzo N., Montilla A. (2019) GC–MS characterisation of novel artichoke (*Cynara scolymus*) pecticoligosaccharides mixtures by the application of machine learning

algorithms and competitive fragmentation modelling. *Carbohydr Polym* 205:513–523. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.054>.

49. Shaw B., Suman A.K., Chakraborty B. (2020) Wine quality analysis using machine learning. In J. K. Mandal & D. Bhattacharya (Eds.), *Emerging Technology in Modelling and Graphics* 239–247. Springer Singapore.

50. Claudia Gonzalez FRV., Sigfredo F., Damir T., Kate H., Dunshea. (2017) Assessment of beer quality based on foamability and chemical composition using computer vision algorithms, near infrared spectroscopy and machine learning algorithms. *J Sci Food Agr* 1–39. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8506>.

51. De Sousa Silva M., Cruz L.F., Bugatti P.H., Saito PTM. (2020) Automatic visual quality assessment of biscuits using machine learning. In L. Rutkowski, M. Scherer Rafałand Korytkowski, W. Pedrycz, R. Tadeusiewicz, & J. M. Zurada (Eds.), *J Artif Intell Soft* (pp. 59–70). Springer International Publishing.

52. Li B., Lin Y., Yu W., Wilson D.I., Young B.R. (2020) Application of mechanistic modelling and machine learning for cream cheese fermentation pH prediction. *J Chem Technol Biotechnol*. <https://doi.org/10.1002/jctb.6517>.

53. Xu J.L., Sun D.W. (2017) Identification of freezer burn on frozen salmon surface using hyperspectral imaging and computer vision combined with machine learning algorithm d'apprentissage automatique. *Int J Refrig* 74:149–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.10.014>.

54. Alaiz-Rodriguez R., Parnell A.C. (2020) A machine learning approach for lamb meat quality assessment using FTIR spectra. *IEEE Access* 8:52385–52394. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2974623>.

55. Pise D., Upadhye G.D. (2018) Grading of harvested mangoes quality and maturity based on machine learning techniques. 2018 Int Conf Smart City Emerg Technol ICSCET 2018 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537342>.

56. Estelles-Lopez L., Ropodi A., Pavlidis D., Fotopoulou J., Gkousari C., Peyrodie A., Panagou E., Nychas G.J., Mohareb F. (2017) An automated ranking platform for machine learning regression models for meat spoilage prediction using multi-spectral imaging and metabolic profiling. *Food Res Int* 99:206–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.013>.

57. Gutiérrez P., Godoy S.E., Torres S., Oyarzún P., Sanhueza I., Díaz-García V., Contreras-Trigo B., Coelho P. (2020) Improved antibiotic detection in raw milk using machine learning tools over the absorption spectra of a problem-specific nanobiosensor. *Sensors (Switzerland)* 20(16):1–13. <https://doi.org/10.3390/s20164552>.

58. Astray G., Albuquerque B.R., Prieto M.A., Simal-Gandara J., Ferreira ICFR., Barros L. (2020) Stability assessment of extracts obtained from *Arbutus unedo* L. fruits in powder and solution systems using machine-learning methodologies. *Food Chem* 333(January) 127460. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127460>.

59. Li M., Ekramirad N., Rady A., Adedeji A. (2018) Application of acoustic emission and machine learning to detect codling moth infested apples. *ASABE* 61(3):1157–1164. <https://doi.org/10.13031/trans.125481157>.

60. Mokarram M., Amin H., Khosravi M.R. (2019) Using adaptive neuro-fuzzy inference system and multiple linear regression to estimate orange taste. *Food Sci Nutr* 7(10):3176–3184. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1149>.

61. Ojediran J.O., Okonkwo C.E., Adeyi A.J., Adeyi O., Olaniran A.F., George N.E., Olayanju A.T. (2020) Drying characteristics of yam slices (*Dioscorea rotundata*) in a convective hot air dryer: application of ANFIS in the prediction of drying kinetics. *Heliyon* 6(3):e03555. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03555>.

62. Bahram-Parvar M., Salehi F., Razavi SMA. (2017) Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) simulation for predicting overall acceptability of ice cream. *EAEF* 10(2):79–86. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2016.11.001>.

63. Kaveh M., Rasooli Sharabiani V., Amiri Chayjan R., Taghinezhad E, Abbaspour-Gilandeh Y., Golpour I. (2018) ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer. *Information Processing in Agriculture* 5(3):372–387. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.003>.
64. Arabameri M., Nazari R.R., Abdolshahi A., Abdollahzadeh M., Mirzamohammadi S., Shariatifar N., Barba F.J., Mousavi Khaneghah A. (2019) Oxidative stability of virgin olive oil: evaluation and prediction with an adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *J Sci Food Agric* 99(12):5358–5367. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9777>.
65. Abbaspour-Gilandeh Y., Jahanbakhshi A., Kaveh M. (2020) Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Sci Nutr* 8(1):594–611. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1347>.
66. Asnaashari M., Farhoosh R., Farahmandfar R. (2016) Prediction of oxidation parameters of purified Kilka fish oil including gallic acid and methyl gallate by adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network. *J Sci Food Agric* 96(13):4594–4602. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7677>.
67. Farzaneh V., Bakhshabadi H., Gharekhani M., Ganje M., Farzaneh F., Rashidzadeh S., Carvalho S.I. (2017) Application of an adaptive neuro_fuzzy inference system (ANFIS) in the modeling of rapeseeds' oil extraction. *J Food Process Eng* 40(6):1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12562>.
68. Kodogiannis V.S., Alshejari A. (2016) Neuro-fuzzy based identification of meat spoilage using an electronic nose. 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems, IS 2016 - Proceedings, 96–103. <https://doi.org/10.1109/IS.2016.7737406>.
69. Tan J., Balasubramanian B., Sukha D., Ramkissoon S., Umaharan P. (2019) Sensing fermentation degree of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans by machine learning classification models based electronic nose system. *J Food Process Eng* 42(6):1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13175>.
70. Thazin Y., Pobkrut T., Kerdcharoen T. (2018) Prediction of acidity levels of fresh roasted coffees using E-nose and artificial neural network. 2018 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology: Cybernetics in the Next Decades, KST 2018, 210–215. <https://doi.org/10.1109/KST.2018.8426206>.
71. Mirzaee-Ghaleh E., Taheri-Garavand A., Ayari F., Lozano J. (2020) Identification of fresh-chilled and frozen-thawed chicken meat and estimation of their shelf life using an E-nose machine coupled fuzzy KNN. *Food Anal Methods* 13(3):678–689. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01682-6>.
72. Ayari F., Mirzaee- Ghaleh E., Rabbani H., Heidarbeigi K. (2018) Using an E-nose machine for detection the adulteration of margarine in cow ghee. *J Food Process Eng* 41(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12806>.
73. Guo T., Yin T., Ma Z., Wang Z., Sun X., Yuan W. (2018) Characterization of different processes lemon slice using electronic tongue. *IFAC-PapersOnLine* 51(17):683–688. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.117>.
74. Faal S., Loghavi M., Kamgar S. (2019) Physicochemical properties of Iranian ziziphus honey and emerging approach for predicting them using electronic nose. *Meas.: J Int Meas Confed* 148, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106936>.
75. Górska-Horczyk E., Horczyk M., Guzek D., Wojtasik-Kalinowska I., Wierzbicka A. (2016) Chromatographic fingerprints supported by artificial neural network for differentiation of fresh and frozen pork. *Food Control* 73:237–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.08.010>.
76. Vajdi M., Varidi M.J., Varidi M., Mohebbi M. (2019) Using electronic nose to recognize fish spoilage with an optimum classifier. *Journal of Food Measurement and Characterization* 13(2):1205–1217. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00036-4>.

77. Wang L., Niu Q., Hui Y., Jin H. (2015) Discrimination of rice with different pretreatment methods by using a voltammetric electronic tongue. *Sensors* 15(7):17767–17785. <https://doi.org/10.3390/s150717767>.
78. Hasan M.A., Sarno R., Sabilla S.I. (2020) Optimizing machine learning parameters for classifying the sweetness of pineapple aroma using electronic nose. *Int J Intell Syst* 13(5):122–132. <https://doi.org/10.22266/ijies2020.1031.12>.
79. Gil-Sánchez L., Garrigues J., Garcia-Breijo E., Grau R., Aliño M., Baigts D., Barat J.M. (2015) Artificial neural networks (Fuzzy ARTMAP) analysis of the data obtained with an electronic tongue applied to a ham-curing process with different salt formulations. *Applied Soft Computing Journal* 30:421–429. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.12.037>.
80. Jingjing H.L., Mingxu Z., Low Sze Shin Xu Ning, Chen Zhiqing LV, Chuang Cui Ying, Shi Yan and Men. (2020) Fuzzy evaluation output of taste information for liquor using electronic tongue based on cloud model. *Sensors* 20(3):1–20. <https://doi.org/10.3390/s20030686>.
81. Marisol IJ-B., Luiz G-S., Ana P-M., Escriche. (2017) Antioxidant activity and physico-chemical parameters for the differentiation of honey using a potentiometric electronic tongue. *J Sci Food Agr* 97(7):2215–2222. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8031>.
82. Tohidi M., Ghasemi-Varnamkhasi M., Ghafarinia V., Bonyadian M., Mohtasebi S.S. (2018) Development of a metal oxide semiconductorbased artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. *Int Dairy J* 77:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.idairj.2017.09.003>.
83. Wang L., Niu Q., Hui Y., Jin H. (2015) Discrimination of rice with different pretreatment methods by using a voltammetric electronic tongue. *Sensors* 15(7):17767–17785. <https://doi.org/10.3390/s150717767>.
84. De Sá A.C., Cipri A., González-Calabuig A., Stradiotto N.R., Del Valle M. (2016) Resolution of galactose, glucose, xylose and mannose in sugarcane bagasse employing a voltammetric electronic tongue formed by metals oxy-hydroxide/MWCNT modified electrodes. *Sens Actuators, B Chem* 222:645–653. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.08.088>.
85. Mazen FMA., Nashat A.A. (2019) Ripeness classification of bananas using an artificial neural network. *Arab J Sci Eng* 44(8):6901–6910. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-03695-5>.
86. Villaseñor-Aguilar M.J., Bravo-Sánchez M.G., Padilla-Medina J.A., Vázquez-Vera J.L., Guevara-González R.G., García-Rodríguez F.J., Barranco-Gutiérrez A.I. (2020) A maturity estimation of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) by artificial vision system for quality control. *Appl Sci (Switzerland)* 10(15):1–18. <https://doi.org/10.3390/app10155097>.
87. De Oliveira E.M., Leme D.S., Barbosa BHG., Rodarte M.P., Alvarenga Pereira RGF. (2016) A computer vision system for coffee beans classification based on computational intelligence techniques. *J Food Eng* 171:22–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.009>.
88. Utai K., Nagle M., Hämmerle S., Spreer W., Mahayothee B., Müller J. (2019) Mass estimation of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Nam Dokmai’) by linking image processing and artificial neural network. *Eng Agric Environ Food* 12(1):103–110. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.10.003>.
89. Gonzalez Viejo C., Torrico D.D., Dunshea F.R., Fuentes S. (2019) Development of artificial neural network models to assess beer acceptability based on sensory properties using a robotic pourer: a comparative model approach to achieve an artificial intelligence system. *Beverages* 5(2):33. <https://doi.org/10.3390/beverages5020033>.
90. Huang X., Xu H., Wu L., Dai H., Yao L., Han F. (2016) A data fusion detection method for fish freshness based on computer vision and near-infrared spectroscopy. *Anal Methods* 8(14):2929–2935. <https://doi.org/10.1039/c5ay03005f>.
91. Koklu M., Ozkan I.A. (2020) Multiclass classification of dry beans using computer vision and machine learning techniques. *Comput Electron Agric* 174(June 2019):105507. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105507>.

92. Fan S., Li J., Zhang Y., Tian X., Wang Q., He X., Zhang C., Huang W. (2020) On line detection of defective apples using computer vision system combined with deep learning methods. J Food Eng 286:110102. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110102>.

93. Siswanto J., Hilman M.Y., Widiastri M. (2017) Computer vision system for egg volume prediction using backpropagation neural network. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 273:2–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/273/1/012002>.

Информация об авторе

Е.Г. Тимчук – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, SPIN-код: 8836-6556, AuthorID: 987987.

Information about the author

E.G. Timchuk – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems Management, SPIN-code: 8836-6556, AuthorID: 987987.

Статья поступила в редакцию 16.08.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 12.10.2022.

The article was submitted 16.08.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 12.10.2022.