

УДК 663.433.1:004.02

**Т.Н. Данильчук, Ю.Р. Гатауллина, В.И. Карпов, С.А.Чечулин****КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКСТРАКТОВ  
ИЗ ЛИСТОВОЙ ПЕТРУШКИ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ**

Исследование, посвященное комплексной оценке показателей качества экстракта петрушки, проведено путем математической обработки, которая базируется на методе кластерного анализа. Применение электроконтактной обработки позволяет в несколько раз повысить выход фторид-ионов из сырой массы листьев петрушки. Сырье обрабатывали переменным током промышленной частоты при напряжении 50–150 В. Длительность обработки не превышала 15 мин. При сопоставлении данных иерархического распределения, представленных в виде графиков по приоритетной характеристике, установлено, что наиболее эффективным режимом электроконтактной обработки сырой массы листьев петрушки является пропускание электрического тока при напряжении 100В в течение 10 мин.

Комплексная оценка, метод кластеризации, электроконтактная обработка, экстракция фторида, петрушка.

**Введение**

Разработка продуктов функционального питания является перспективным направлением развития пищевой промышленности. Коррекция рациона питания за счет включения продуктов функционального назначения имеет положительный эффект при профилактике и лечении многих заболеваний. В настоящее время особое место занимают болезни, связанные с нарушением минерального состава организма человека. Одной из острых проблем является дефицит фтора, так как низкое содержание в питьевой воде фторид-ионов приводит к высокому уровню заболеваемости кариесом. Петрушка выделяется среди пряно-вкусовых растений как уникальный источник фтора. Она полезна в детском питании для профилактики развития кариеса и укрепления зубной эмали. Этот факт представляет большой интерес в плане разработки продуктов питания, обогащенных фтором, так как природные компоненты обладают значительно более высокой биодоступностью по сравнению с искусственными препаратами, что значительно усиливает положительный эффект от их применения. Экстрагирование является широко используемым в пищевой промышленности способом выделения ценных компонентов из растительного сырья. Однако из-за волокнистой структуры материала скорость массообменных жидкофазных процессов в такой среде низкая и зависит от степени проницаемости мембраны растительной клетки. В связи с этим в последнее время возрос интерес к изучению способов комплексной переработки сырья. Одним из эффективных способов повышения степени экстракции ценных компонентов из растительного сырья является электроконтактная (ЭК) обработка. При воздействии электрического тока на растительную ткань протекают изменения комплексного характера (размягчение нативной структуры, повышение проницаемости клеточной мембраны с выделением растительного сока, конформационные изменения клеточной стенки и др.) [1, 2]. В наших работах показано, что применение ЭК обработки оказывает значительное влияние на степень извлечения фторид-ионов из измельченной массы листовой петрушки [3, 4]. При определенных режимах ЭК обработки наблюдалось

практически двукратное увеличение концентрации фторид-ионов в экстрактах.

В связи с изложенным выше большое значение имеет поиск и подбор оптимальных режимов ЭК обработки. В этих целях была проведена кластеризация экспериментальных данных с использованием программы «Комплексная оценка качества и классификация многомерных объектов» [5]. Применение комплексной оценки качества экстрактов путем обработки результатов многофакторного эксперимента, базирующейся на элементах ранжирования и принципах целевой иерархии, позволяет, по сути, обосновать оптимальные режимы воздействия на макро- и микроуровне и выбрать преобладающий кластер значений, что особо актуально для биологических объектов, представляющих собой нестабильную систему для однозначной экспертной оценки.

**Объекты и методы исследования**

Предварительно подготовленные листья петрушки измельчали до размера частиц 2–5 мм, в полученную измельченную массу добавляли воду (10 % от массы сырья) и подвергали ЭК обработке в устройстве [6]. Сырье обрабатывали переменным током промышленной частоты при напряжении 50–150 В. Длительность обработки не превышала 15 мин. После ЭК обработки листовую массу вынимали из ячейки, помещали в дистиллированную воду на 24 ч. Концентрацию фторид-ионов в приготовленном водном экстракте измеряли согласно методике определения фторид-ионов потенциометрическим методом с использованием ионоселективного фторид-электрод-а ЭЛИТ F11. В качестве контрольных образцов выбраны необработанные измельченные листья петрушки. Концентрация фторидов в водном экстракте из контрольного образца составляла 4,5 мг/кг, а в обработанных образцах – от 8,2 до 27,2 мг/кг в зависимости от параметров ЭК обработки.

В условиях многофакторного эксперимента, когда происходит интеграция массообменных и диффузионных процессов, сопряженных с изменениями основных и вторичных характеристик структурных единиц растительного сырья, для обоснования оптимальных режимов физической обработки целесооб-

разно решение задачи кластеризации многомерных объектов. Обработка массива экспериментальных данных осуществлялась с помощью комплекта прикладных программ на базе персонального компьютера, который позволяет работать с наборами характеристик качества любого уровня декомпозиции и учитывать влияние каждой характеристики на итоговую оценку качества с помощью значений весовых коэффициентов.

Исходное множество выбора режимов обработки сырой массы листовой петрушки рассматривается в виде множества многомерных объектов  $S$ :

$$S = \{S_n\}, n \in \overline{1, N} \quad (1)$$

где  $S_n$  – результаты  $n$ -го эксперимента;

$n$  – номер эксперимента;

$N$  – количество объектов.

Характеристики экспериментальных данных, показателей представлены в виде матрицы характеристик  $X$ , именуемой также матрицей «объект – свойство»:

$$X = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & \dots & S_n \\ X_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ X_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (2)$$

где  $X_{mm}$  –  $m$ -ая характеристика  $n$ -го объекта;

$X$  – матрица характеристик заданного множества объектов;

$m$  – номер характеристики;

$M$  – общее количество характеристик (в нашей работе  $M=5$ );

$X_1$  – потребляемая мощность ( $P_0$ );

$X_2$  – мощность полезная ( $P_1$ );

$X_3$  – реактивная мощность ( $P_a$ );

$X_6$  – экстрактивность ( $C$ );

$X_7$  – температура обработанной массы ( $T$ ).

Задача кластеризации заключается в разбиении исходного массива данных на множество однородных классов  $C_o$  таким образом, чтобы объекты каждого класса были в определенном смысле сходны между собой, а сами классы объектов отличались бы друг от друга [5]:

$$S = \bigcup_{k=1}^{K_o} C_k, \quad \forall C_k \in C_o, \quad \forall C_l \in C_o : C_k \cap C_l = \emptyset, \quad (3)$$

$$k = \overline{1, K_o}, \quad l = \overline{1, K_o}, \quad k \neq l, \quad (4)$$

где  $C_k$  – множество объектов  $k$ -го класса;

$k$  – номер класса;

$K_o$  – оптимальное количество классов объектов;

$N_k$  – количество объектов  $k$ -го класса.

Для разбиения исходной совокупности объектов на оптимальное количество классов, т.е. для определения оптимальной классификации, на каждом ее шаге проводится расчет критерия качества классификации, принимающего максимальное значение при оптимальной классификации. В данной работе ранжирование показателей представлено совокупностью 5 классов:

$$U(K_o) = \max_{K = \overline{1, 2}} \{(U_1(K) - U_2(K))\}, \quad (5)$$

где  $U(K_o)$  – оптимальное значение критерия качества

классификации;

$U_1(K)$  – компактность классов;

$U_2(K)$  – мера близости классов.

Мера сходства между двумя объектами (программными средствами) определяется на основании потенциальной функции  $f(S_i, S_j)$ .

$$f(S_i, S_j) = \frac{1}{1 + r^2(S_i, S_j)}, \quad (6)$$

$$r(S_i, S_j) = \sqrt{\sum_{m=1}^M (X_{im} - X_{jm})^2},$$

где  $f(S_i, S_j)$  – потенциальная функция объектов  $S_i \in S$  и  $S_j \in S$ ;

$\rho(S_i, S_j)$  – евклидово расстояние между объектами  $S_i$  и  $S_j$  в пространстве характеристик  $X$ .

### Результаты и их обсуждение

Изучали массив данных, полученных в серии многократных экспериментов по ЭК обработке различной длительности и при различных величинах напряжения электрического тока. Для разделения объектов на классы были использованы один из известных методов кластерного анализа – метод средней связи, что позволило разбить объекты на группы с учетом всех их характеристик одновременно без создания каких-либо обучающих выборок. Далее для оценки режимов обработки сырой массы петрушки была проведена расстановка весовых коэффициентов. При работе с весовыми коэффициентами характеристик качества их значения вводили с учетом экспертной оценки. Информацию об экспертной оценке вносили в базу данных по трем вариантам: вариант 1 – наиболее важная характеристика – степень экстракции; вариант 2 – наиболее важная характеристика – затраты потребляемой мощности; вариант 3 – равнозначимые по важности величины степени экстракции и затрат потребляемой мощности. Результаты расстановки весовых коэффициентов приведены в табл. 1–3, где  $K$  – значение весового коэффициента,  $P_0$  – потребляемая мощность,  $P_1$  – полезная мощность,  $P_a$  – реактивная мощность,  $C$  – экстрактивность,  $T$  – температура обработанной массы.

Таблица 1

Расстановка весовых коэффициентов для варианта 1

| Критерий | $P_0$ | $P_1$ | $P_a$ | $C$ | $T$  | $\Sigma(P_0, P_1, P_a, C, T)$ |
|----------|-------|-------|-------|-----|------|-------------------------------|
| $K$      | 0,1   | 0,1   | 0,05  | 0,5 | 0,25 | 1,0                           |

Таблица 2

Расстановка весовых коэффициентов для варианта 2

| Критерий | $P_0$ | $P_1$ | $P_a$ | $C$ | $T$  | $\Sigma(P_0, P_1, P_a, C, T)$ |
|----------|-------|-------|-------|-----|------|-------------------------------|
| $K$      | 0,3   | 0,3   | 0,05  | 0,2 | 0,15 | 1,0                           |

Таблица 3

Расстановка весовых коэффициентов для варианта 3

| Критерий | $P_0$ | $P_1$ | $P_a$ | $C$ | $T$ | $\Sigma(P_0, P_1, P_a, C, T)$ |
|----------|-------|-------|-------|-----|-----|-------------------------------|
| $K$      | 0,4   | 0,05  | 0,05  | 0,4 | 0,1 | 1,0                           |

Итоговая классификация данных по ЭК обработке сырой массы петрушки представлена на рис. 1–3, где по оси X отложены объекты оценки (режимы ЭК обработки), а по оси Y – значения эффективности рассматриваемых режимов ЭК обработки. Во всех трех обработках исходное множество объектов было распределено по четырем кластерам. Используются следующие обозначения:

- Класс № 1
- Класс № 2
- Класс № 3
- Класс № 4

Объекты, попавшие в «Класс № 4», обладают максимальным средним интегральным показателем.

Было выявлено (см. рис. 1), что для увеличения степени экстракции фторид-ионов предпочтительным

режимом обработки сырой массы листьев петрушки является 100 В в течение 10 мин при заданных условиях оценки («Класс № 4»). Высокие значения эффективности у объектов, попавших в «Класс № 3» (150В в течение 10 мин и 100 В в течение 15 мин), обусловлены влиянием других показателей, которые отличаются от показателей класса № 4. Наиболее низкая степень экстракции фторид-ионов характерна для объектов, обработанных при 50 В и 150 В, попавших в «Класс № 1». Наличие в «Классе № 1» точки, соответствующей обработке 100 В в течение 15 мин, можно объяснить неравномерным прохождением электрического тока и наблюдавшимся в эксперименте точечным выгоранием растительной ткани, что привело к понижению степени экстракции фторид-ионов.

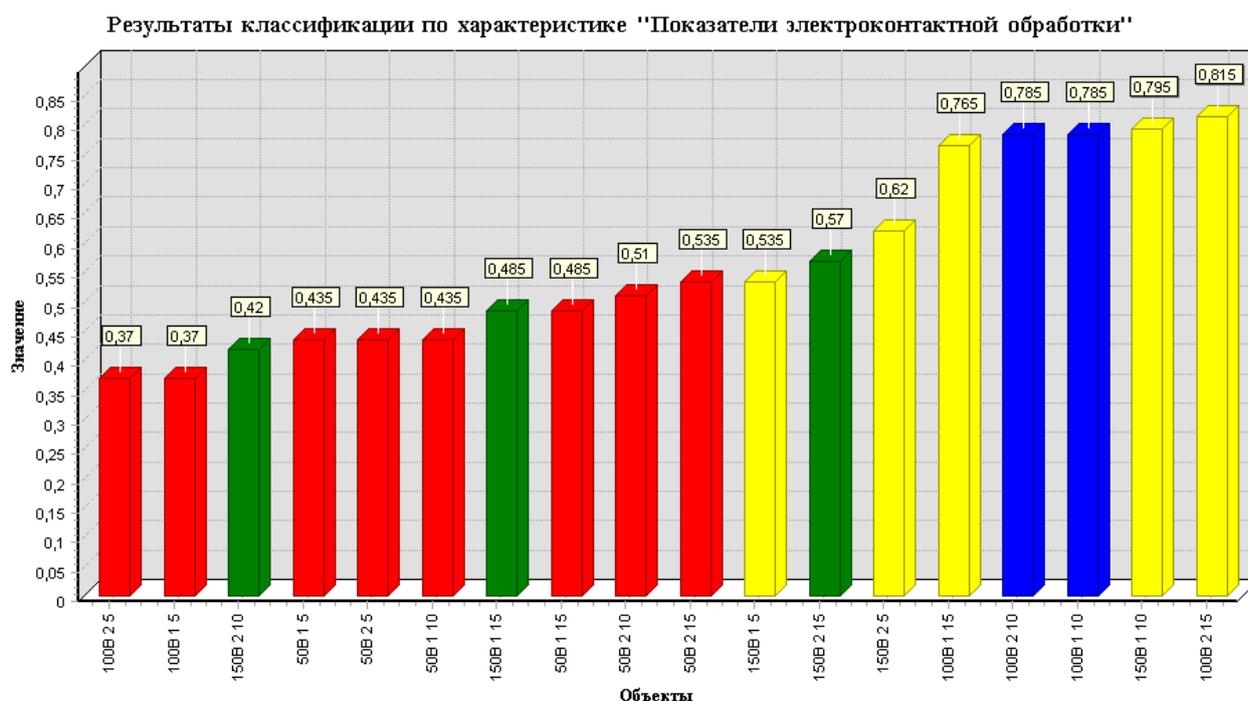


Рис.1. Результаты классификации «Показатели электроконтактной обработки с приоритетной характеристикой «экстракция»»

Данные, приведенные на рис. 2, позволяют обозначить два лучших объекта кластеризации, относящихся к режимам обработки 50 В в течение 10 и 15 мин, которые характеризуются минимальными затратами потребляемой мощности. При этом объекты, соответствующие режимам 100 В в течение 15 мин и 150 В в течение 10 мин и имеющие наиболее высокую

интегральную оценку, попадают в менее предпочтительный «Класс № 3», поскольку их средние показатели ниже, чем у «Класса № 4». ЭК обработка в режиме 150 В в течение 15 мин приводит к неэффективному расходованию потребляемой мощности: наблюдается сильный нагрев ячейки с образцом и интенсивное испарение влаги, что приводит к потере фторид-ионов.

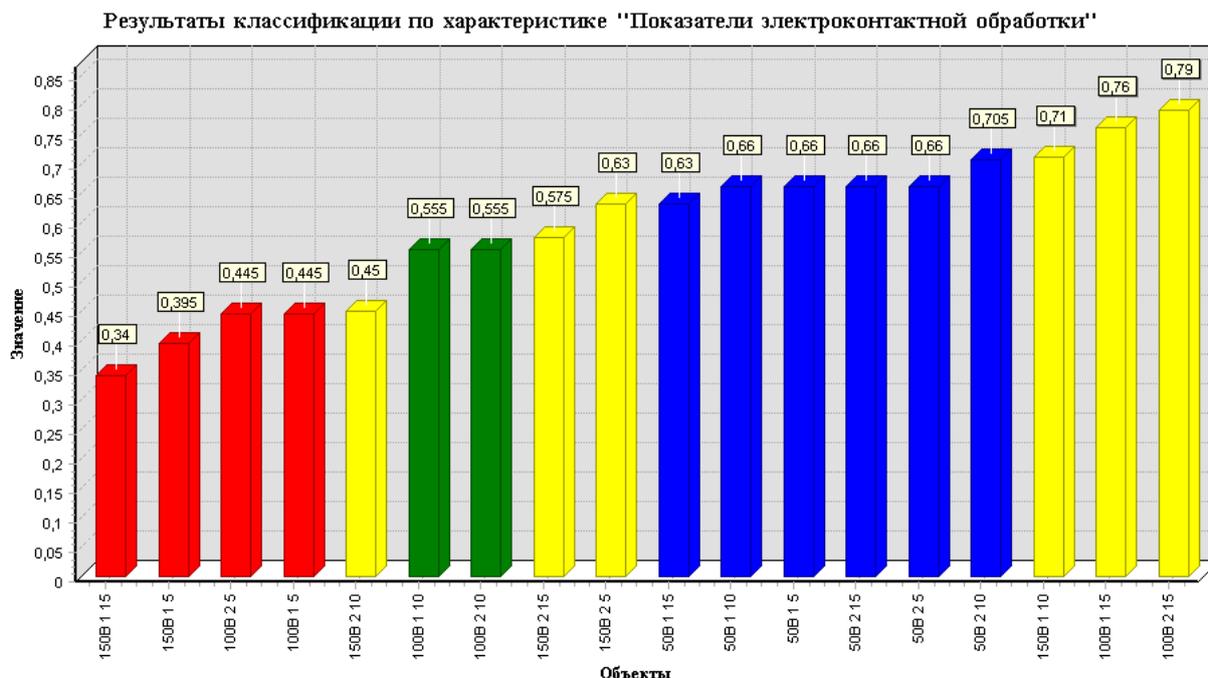


Рис. 2. Результаты классификации «Показатели электроконтактной обработки с приоритетной характеристикой "затраты потребляемой мощности"»

Ранжирование классов экспериментальных данных с использованием ЭК обработки сырой массы листьев петрушки по совокупной важности представлено равномерно (рис. 3). При условии равноценности крите-

риев оценки по степени экстракции и затратам потребляемой мощности максимальные значения эффективности имеют режимы 100 В в течение 10 и 15 мин.

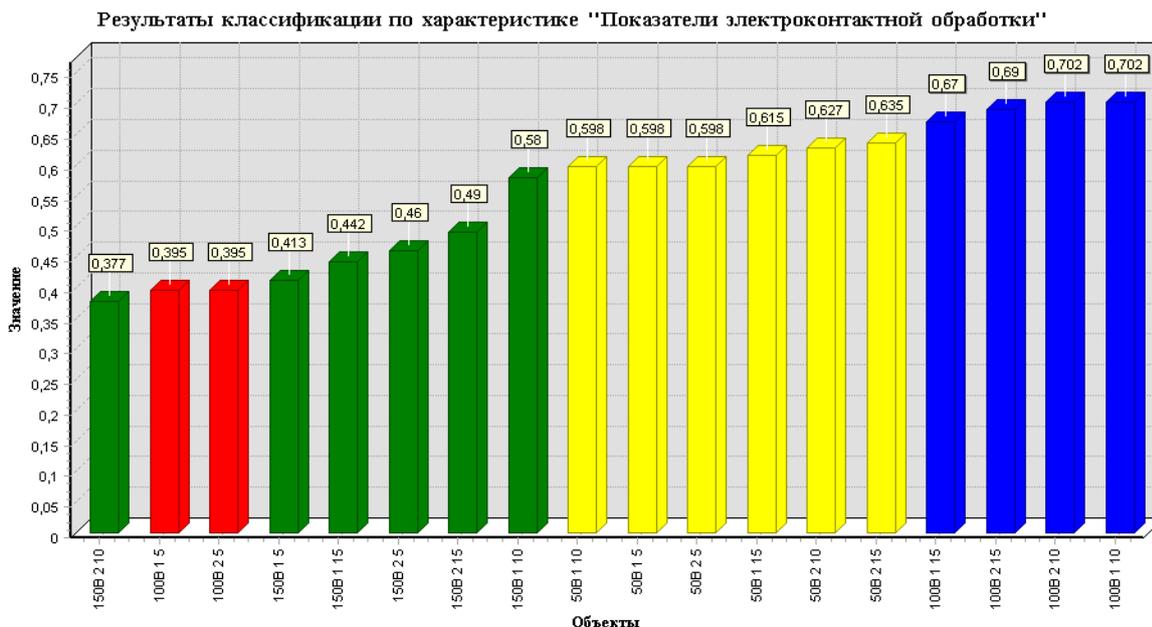


Рис. 3. Результаты классификации «Показатели электроконтактной обработки по совокупной важности "экстракция" и "экономия потребляемой мощности"»

Таким образом, комплексная оценка позволяет с высокой степенью достоверности выделить оптимальные режимы ЭК обработки с учетом приоритетных качественных показателей – степени экстракции и экономичности. На основании полученных данных

можно рекомендовать обработку сырой массы листьев петрушки переменным током промышленной частоты ЭК способом в течение 10 мин при напряжении 100 В как наиболее эффективный технологический режим.

## Список литературы

1. Гордеев, А.М. Электричество в жизни растений / А.М. Гордеев, В.Б. Шершнеv. – М.: Наука, 1991.
2. Рогоv, И.А. Электрофизические методы в холодильной технике и технологии / И.А. Рогоv, Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин. – М.: Колос, 1996.
3. Токаев, Э.С. Электроконтактная обработка растительного сырья при экстракции фторид-ионов из сырой массы петрушки / Э.С. Токаев, М.С. Погорелов, Т.Н. Данильчук, Ю.Р. Гатаулина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – №2. – С.24–25.
4. Токаев, Э.С. Влияние электроконтактной обработки на микроструктуру листьев петрушки / Э.С. Токаев, М.С. Погорелов, Т.Н. Данильчук, Ю.Р. Гатаулина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – №1. – С.11–14.
5. Гетьман, В.В. Комплексная оценка качества и классификация многомерных объектов (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ), Свид. об офиц. регистр.прогр. для ЭВМ № 2006613936 РФ; К.С.Мышенков, В.И.Карпов, В.В. Гетьман– № 2006613704; Заяв. 02.11.2006; Зарегистр. 16.11.2006.
6. Данильчук, Т.Н. Устройство для проращивания зерна / Т.Н. Данильчук. Патент RU 2 389 169 С1. 19.12.2008 г. Опубликовано: 20.05.2010 Бюл. № 14. – 5 с.

ГОУ ВПО «Московский государственный университет  
прикладной биотехнологии» (МГУПБ),  
109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 33.  
Тел./факс: (495) 670-07-78  
e-mail: rector@msaab.ru

## SUMMARY

**T.N. Danilchuk, Y.R. Gataullina, V.I. Karpov, S.A. Chechulin**

**COMPLEX QUALITY EVALUATION OF PARSLEY EXTRACT  
AFTERELECTROCONTACT TREATMENT**

The research on the complex estimation of quality parameters of parsley extracts has been done with a computer program based on the clustering database method.

The application of electrocontact treatment allows to raise several times the yield of fluoride ions from the wet mass of parsley leaves. The raw material was treated with alternating current of industrial frequency at the voltage of 50-150 V. The time of treatment didn't exceed 15 minutes. By comparing the data of the hierarchical distribution presented in the form of priority characteristic diagrams, it was established that the most effective mode of electrocontact treatment of crude mass of parsley leaves is passing an electric current at a voltage of 100 V during 10 minutes.

Complex estimation, method of clustering, fluoride extraction, parsley, electrocontact treatment.

The Moscow state university of applied biotechnology  
33, Talalihinastreet, Moscow, 109316, Russia  
Phone/Fax: +7 (495) 670-07-78  
e-mail: rector@msaab.ru

