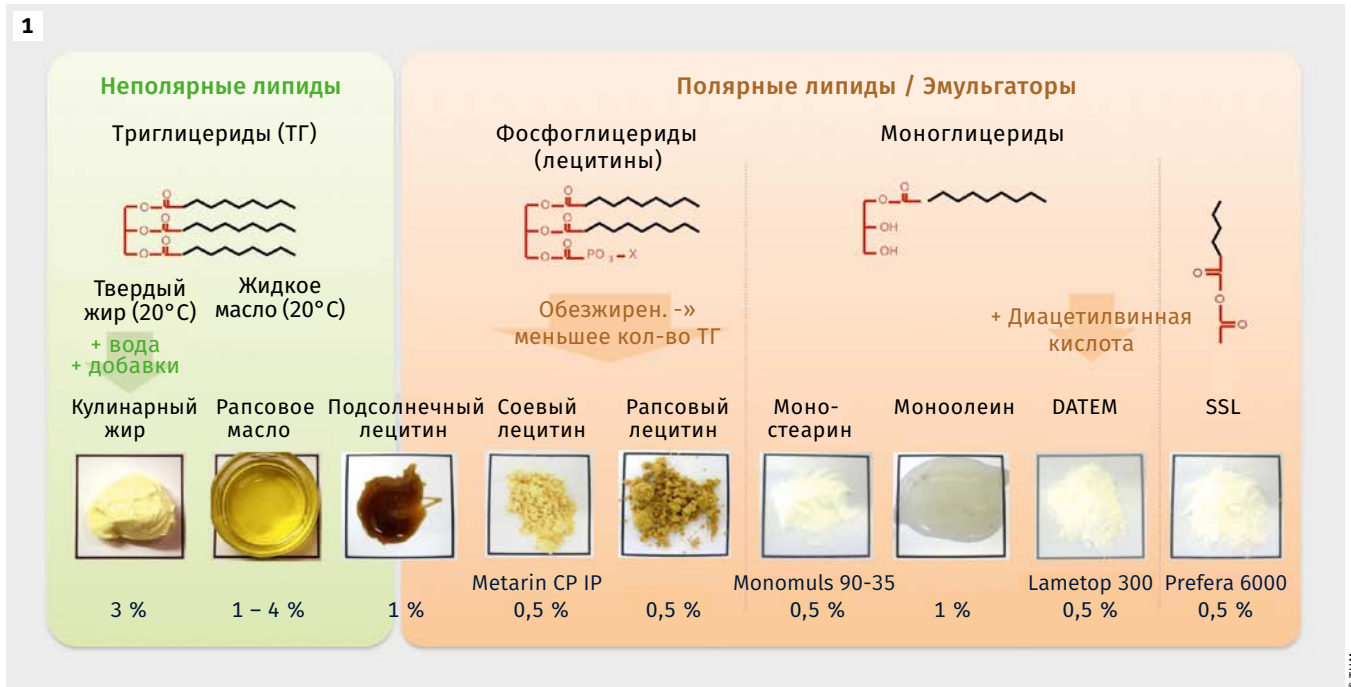


# Липиды в безглютеновом хлебе

Влияние маргарина, рапсового масла и различных эмульгаторов на объем и текстуру.



+++ рисунок 1: Перечень и классификация липидов; применявшиеся торговые марки и концентрации в исследованиях (в процентном соотношении к объему смеси муки и крахмала) указаны под изображениями; SB = семена подсолнечника, DATeM = глицерид диацилвинной кислоты; SSL = стеароил-2-лактат натрия

**+** Безглютеновые диеты набирают популярность. Между тем следует критически относиться к вопросу, имеют ли они преимущества для здоровых людей с точки зрения физиологии питания. Неоспорим тот факт, что тем, кто страдает целиакией, то есть хроническим заболеванием тонкого кишечника, необходимо отказаться от употребления глютена на протяжении всей жизни. Так как вызывающий аллергию белок содержится практически во всех доступных в продаже хлебобулочных изделиях, страдающим целиакией людям приходится искать безглютеновые варианты продуктов питания. Если стабилизирующая глютенная сетка отсутствует, то газоудерживающая способность теста снижается, что сказывается на качестве готовых изделий.

Липиды представляют собой нерастворимые в воде вещества и применяются в традиционной выпечке для

улучшения газоудерживающей способности. В ходе данной работы была предпринята попытка компенсировать отсутствие глютена за счет введения этих функциональных добавок. Были проведены исследования с целью выяснить, в какой степени жир, масло и эмульгаторы, стабилизирующие пузырьки газа, или взаимодействующие с крахмалом и белком, влияют на объем и пористость мякиша безглютенового хлеба.

## Применение липидов в традиционных хлебобулочных изделиях

Как видно на рис. 1, жиры и масла относятся к группе неполярных триглицеридов, состоящих из глицерина и жирных кислот. Длина и степень насыщения жирных кислот определяют точку плавления и то, какую консистенцию они будут иметь при комнатной температуре: твердую (то есть превратятся в жир) или жидкую (то есть масло). Если рапсовое масло, включенное в данное исследование, отличается относительно высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот (что положительно сказывается на здоровье), то маргарин применяют из-за его универсальности и способности привносить аромат, витамины или эмульгаторы.

Эмульгаторы – это липиды с полярной (гидрофильной) головкой и неполярными цепочками жирных кислот. Показатель ГЛБ (гидрофильно-липофильный баланс), имеющий важное значение, говорит о соотношении гидрофильных и липофильных групп и используется для

## Авторы

Дана Эльгети, Симоне Бернауэр,  
д-р Марио Экле\*, проф. д.т.н.

Томас Бекер

Технический университет Мюнхена (TUM)  
Институт исследования зерновых культур Вайенштефан  
85354 Фрайзинг, Германия  
E-mail: mjekle@tum.de



+++ Дана Эльгети

\* контактное лицо

прогнозирования, в эмульсию какого вида трансформируется эмульгатор: эмульсию типа «масло в воде» (м/в) или эмульсию типа «вода в масле» (в/м). Чем выше показатель ГЛБ, тем больше гидрофильных групп, и, соответственно, тем выше вероятность образования эмульсии типа м/в. Пена похожа на эмульсию типа м/в, поэтому соединения с более высокими показателями ГЛБ должны лучше стабилизировать пузырьки газа в тесте.

Эмульгаторы растительного или животного происхождения называют натуральными эмульгаторами. Полярные липиды, от природы присутствующие в зерновых культурах, сами по себе улучшают стабилизацию пузырьков газа в тесте и таким образом оказывают положительное влияние на качество хлебобулочных изделий [1]. В качестве добавок в хлебобулочные изделия часто применяют лецитины, их источниками могут быть семена рапса, соевые бобы или семена подсолнечника. Показатель ГЛБ в зависимости от состава варьируется в пределах от 2 до 7 единиц, поэтому образуется эмульсия типа в/м. Путем экстракции масла можно уменьшить содержание триглицеридов, вследствие чего влияние эмульгаторов будет более сильным. Если используется соевый лецитин Metarin CP IP, то показатель ГЛБ повышается.

Моно- и диглицериды обычно образуют эмульсии типа «вода в масле». Их, как правило, получают, целенаправленно изменяя комбинацию жирных кислот (этот процесс называется переэтерификация). 70 % применяемых в продуктах питания эмульгаторов составляют именно они. В данной работе использовался моноглицерид моностеарин, содержащий насыщенную жирную кислоту, и моноолеин с простой ненасыщенной жирной кислотой. Часто добавляемый в хлебобулочные изделия сложный эфир диацетилвинной кислоты DATEM относится к группе анионных эмульгаторов, так как имеет отрицательный заряд. В заключение было исследовано воздействие еще одного анионного эмульгатора, стеароил-2-лактат натрия (SSL), имеющего в составе стеариновую и молочную кислоту.

#### **Механизм действия липидов в традиционных хлебобулочных изделиях**

Принято считать, что липиды улучшают качество хлебобулочных изделий. В литературе описаны три основных механизма, вследствие работы которых может меняться результат выпечки: (1) обогащение на границе раздела воды и газа, (2) взаимодействие с крахмалом и (3) взаимодействие с белками.

Полярные липиды способны уменьшать поверхностное натяжение пузырьков газа в тесте и таким образом стабилизировать их. Образовавшиеся при замесе пузырьки газа обладают большей способностью к расширению во время ферментации и выпечки за счет образования гидрофобно-гидрофильных веществ на границе раздела, благодаря чему и получают изделия большего объема с однородными мелкими порами. Помимо этого,

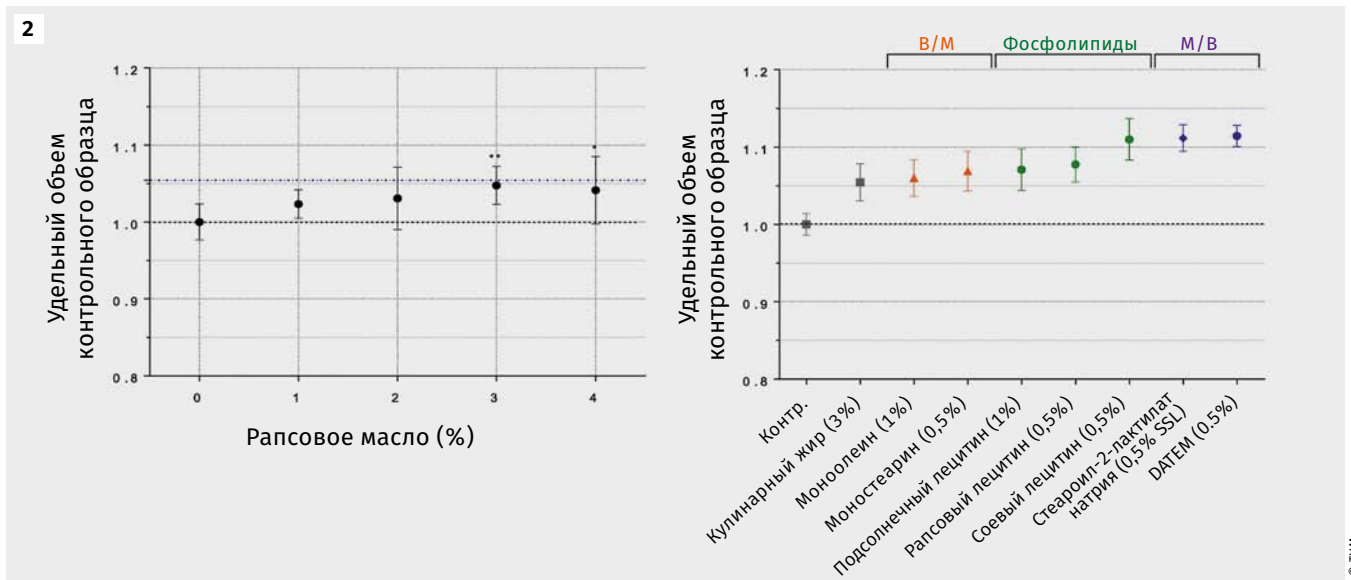
липиды способны вступать в гидрофобное или полярное взаимодействие с белками, ускоряя их агрегацию и денатурацию, что, например, в пшеничном тесте, согласно данным, полученным Ортофером (Orthofer, 1997), может способствовать повышению стабильности [2]. Благодаря взаимодействию крахмала и эмульгаторов процесс старения хлебобулочных изделий может замедляться. При хранении хлеб черствеет вследствие рекристаллизации клейстеризованного крахмала. Жирные кислоты с длинными неразветвленными цепями способны образовывать единый комплекс со спиральной структурой амилозы крахмала, вследствие чего создаются препятствия для рекристаллизации. Липиды также способны блокировать высвобождение амилозы из крахмального зерна и таким образом замедлять клейстеризацию, что может продлить подъем теста в печи [3].

Если задействовать различные механизмы, то можно увеличить объем пшеничного теста на 15 – 25 % путем добавления 5 % жира, а при добавлении 0,6 % эмульгатора DATEM – почти на 40 %. При этом мякиш будет менее твердым [4,5]. Кроме того, благодаря липидам можно замедлить процесс черствения хлебобулочных изделий и, следовательно, увеличить срок их годности. В заключение нужно добавить, что жир является носителем вкусовых свойств и улучшает вкусовое восприятие продукции.

#### **Влияние липидов на объем и пористость безглютенового хлеба**

На рис. 1 демонстрируются липиды, которые ввели в рецептуру безглютенового хлеба на основе рисовой и кукурузной муки, а также кукурузного крахмала в соотношении 2:1:1. В рецептуру также ввели 1,5 % сухих дрожжей, 2 % гидроксипропилметилцеллюлозы (HPMC), 2 % NaCl и 80 % воды в пересчете на количество смеси муки и крахмала. После вымешивания в течение 4 минут и брожения в течение 15 минут отобрали по 250 г теста и поместили в расстоечный шкаф еще на 30 минут. Затем выпекли хлеб при температуре 220°C в течение 35 минут с начальным увлажнением пекарной камеры (0,5 л жидкости).

Для начала сравнили результаты воздействия обычного доступного в продаже маргарина для выпечки со сложным составом в твердой форме с результатами воздействия жидкого рапсового масла. По сравнению со стандартной рецептурой без добавления липидов при добавлении 3 % маргарина удельный объем хлеба увеличился на 5,4 %. Как видно на рис. 2 и 3, добавление рапсового масла также положительно сказалось на объеме, при этом наилучший результат был получен при добавлении 3 % масла (удельный объем увеличился на 4,7 %). То есть, маргарин оказал большее влияние на объем хлеба, чем рапсовое масло. Причина этого может, с одной стороны, заключаться в составе (эмульгаторы в маргарине), а с другой стороны, в консистенции. Размер пор, который оценили путем анализа снимков, уменьшился



**+++ рисунок 2:** Влияние липидов на объем безглютенового хлеба; удельный объем указан относительно выпеченного в тот же день обычного хлеба без добавления липидов; значения в процентах указаны относительно объема смеси муки и крахмала; слева: звездочки обозначают существенные отличия по сравнению с обычным хлебом; справа: все значения существенно отличаются от значений для обычного хлеба

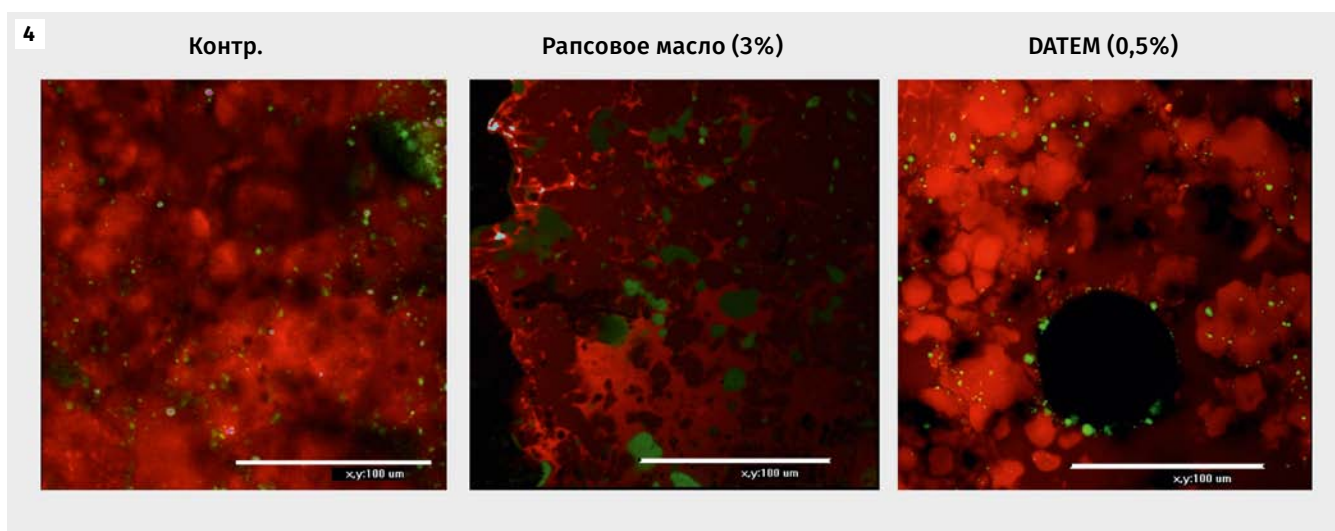
при добавлении масла, но еще больше он уменьшился при добавлении маргарина, что говорит о большей стабилизации пузырьков газа. Результаты испытания нашли подтверждение и в ходе органолептических тестов. Кроме того, было отмечено, что поры в мякише хлеба с добавлением жира были распределены более однородно, чем в изделиях без содержания жира.

Также были проведены испытания с тремя натуральными и четырьмя синтетическими эмульгаторами, разрешенными к применению в хлебобулочных изделиях (см. рис. 1). Эмульгаторы отличаются друг от друга консистенцией и соотношением липофильных и гидрофильных групп. Все порошковые эмульгаторы

добавляли в дозировке 0,5 % в пересчете на объем смеси муки и крахмала. Эмульгаторы с пастообразной и маслообразной консистенцией вводили в дозировке 1 %. Удельный объем хлеба с добавлением эмульгаторов значительно превышал объем стандартной продукции. Это видно на рис. 2. Наибольшее увеличение удельного объема, на 11,4 %, было достигнуто при применении эмульгатора DATEM. Увеличение объема хлеба наилучшим образом демонстрирует фотография на рис. 3, сделанная после охлаждения хлеба. В отчете Нуньеса и др. (Nunes et al., 2009) в качестве сравнения было отмечено увеличение удельного объема хлеба из безглютенового теста на 6,9 % при добавлении 0,6 % DATEM [6].



**+++ рисунок 3:** Безглютеновый хлеб с добавлением разных липидов; процентное соотношение относительно объема смеси муки и крахмала



+++ рисунок 4: Микроструктура мякиша безглютенового хлеба; слева: без добавления липидов; в центре: с добавлением 4 % рапсового масла; справа: с добавлением 0,5 % DATEM; процентное соотношение относительно объема смеси муки и крахмала; изображения сделаны методом конфокальной лазерной сканирующей микроскопии

#### Стабилизация пузырьков газа вследствие действия липидов в бездрожжевом хлебе

При попытке сортировать эмульгаторы по принципу их действия становится очевидно, что в основе классификации эмульгаторов может лежать описанный ранее показатель ГЛБ либо тип эмульгаторов. Эмульгаторы типа «масло в воде» с высоким показателем ГЛБ в большей степени способствовали увеличению объема. Это можно объяснить тем, что присутствие пузырьков газа в водной крахмальной суспензии в тесте делает ее более похожей на эмульсию типа «масло в воде».

Чтобы более подробно изучить принцип действия эмульгаторов, отдельные составляющие мякиша подкрасили специальными красителями и провели анализ методом конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (CLSM). На рис. 4 показано распределение жира в мякише без добавления липидов, с добавлением 4 % рапсового масла и 0,5 % DATEM (белок и крахмал: красный цвет, липиды: зеленый). На изображении видно,

что использование рапсового масла приводит к образованию крупных неоднородно распределенных капель жира. При проведении испытаний по стабилизации пузырьков газа в пшеничном тесте также было отмечено, что хотя жидкие масла и способны скапливаться вблизи пузырьков газа, взаимодействие с поверхностью или слияние с пузырьками не происходит. Маргарин содержит большое количество мелких кристаллов, высоко подвижных благодаря своему размеру, вследствие чего их способность к распределению выше. Кроме того, при добавлении пекарского жира активность на границе раздела фаз усиливается благодаря эмульгаторам.

В дополнение к пробной выпечке исследовали поверхностную активность эмульгаторов с помощью тензометра. Растворы эмульгаторов с концентрацией 0,6 % в воде во всех случаях уменьшали поверхностное натяжение воды, при этом стеароил-2-лактилат натрия (SSL), рапсовый лецитин и DATEM вызывали наибольшие изменения (см. рис. 5). Так как добавление именно этих



эмульгаторов приводило к наибольшему увеличению объема хлеба, то вполне вероятно, что поверхностная активность играет большую роль и в безглютеновом хлебе. В подтверждение этого предположения на рис. 4 показан снимок под микроскопом, на котором видно перераспределение эмульгатора DATEM вокруг пузырька газа в хлебном мякише.

#### **Взаимодействие липидов с белками и крахмалом в безглютеновом хлебе**

Несмотря на положительный эффект от добавления эмульгаторов в целом, в безглютеновом хлебе эмульгаторы работают не так активно, как в пшеничном. Причина может заключаться в том, что, как выяснилось, некоторые эмульгаторы оказывают большое влияние на эластичность и стабильность глютеиновой сетки. Так как эта сетка в безглютеновых рецептурах отсутствует, а альтернативные сорта муки и крахмала, как правило, содержат меньшее количество белка (на 40 – 70 % меньше), то такой механизм воздействия не может быть реализован.

Эмульгаторы с одной единственной насыщенной жирной кислотой должны быть способны образовывать амилотриптеринные комплексы. Благодаря этому можно замедлить ретроградацию крахмала и получить хлеб с более мягким мякишем. На практике согласно отзывам дегустаторов и данным анализатора текстуры при добавлении DATEM и SSL получался самый мягкий мякиш, что частично, но не полностью связано с тем, что такой хлеб имел наибольший объем. Благодаря маленькой полярной головке SSL может рассматриваться как подходящий агент для образования комплексов, способствующих получению мягкого мякиша (твердость мякиша примерно на 40 % ниже, чем в стандартных изделиях без добавления липидов). Однако результаты органолептической оценки изделий с SSL были отрицательными, так как текстура мякиша становилась хрупкой, как видно на рис. 3. Из-за нарушения связей хлеб крошился, и резать его было неудобно.

Подводя итоги, можно сказать, что взаимодействие липидов с крахмалом в безглютеновом хлебе, вероятно, играет важную роль. Принимая во внимание сравнительно высокое содержание крахмала и связанное с этим довольно быстрое высыхание хлеба, можно допустить, что применение таких эмульгаторов как DATEM могло бы быть оправдано. Помимо положительного влияния на объем хлеба, образование крахмалолипидных комплексов также замедляется процесс черствения. Этот процесс необходимо изучить в будущем, для чего следует провести испытания по хранению.

#### **Выводы и резюме**

Добавление 3 % рапсового масла или маргарина вызывало увеличение объема хлеба. Вместе с тем объем безглютенового хлеба увеличивался ненамного по сравнению с

пшеничным, примерно на 5 %. При применении эмульгаторов была выявлена определенная закономерность, действующая в отношении увеличения объема: эмульгаторы типа «масло в воде» с более высоким показателем ГЛБ вызывали большее увеличение удельного объема хлеба, в то время как моноглицериды с меньшим показателем ГЛБ вызывали лишь незначительный эффект. Показатель ГЛБ натуральных фосфолипидов можно повысить путем экстракции масла, это улучшает готовый продукт. Эмульгаторы с одной длинноцепочечной жирной кислотой позволяли значительно уменьшить твердость мякиша за счет образования комплексов с крахмалом. Эмульгатор SSL отличается наибольшей активностью на границе раздела воды и воздуха и позволяет получить хлеб со вторым по величине объемом. Однако дегустаторы охарактеризовали такой хлеб как непривлекательный из-за образования большого количества крошек. Поэтому рекомендуется добавление 0,5 % DATEM. По сравнению с пшеничным хлебом в безглютеновом хлебе липиды менее активны. Предположительно взаимодействие между липидами и белками в безглютеновом тесте в меньшей степени сказывается на готовой выпечке, в то время как в пшеничном хлебе такое взаимодействие имеет решающее значение благодаря его влиянию на глютеиновую сетку.

Подводя итог, нужно отметить, что авторам удалось найти подтверждения тому, что в первую очередь такие эмульгаторы как DATEM оказывают положительное влияние на качество (объем, пористость и твердость) безглютенового хлеба. Чтобы в полной мере использовать потенциал применения эмульгаторов, необходимо исследовать синергетические эффекты, комбинируя различные эмульгаторы друг с другом.

#### **Список литературы:**

- [1] [1] MacRitchie, F., Gras, P.W., 1973. The role of flour lipids in baking, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.
- [2] Orthoefer F., 1997. Applications of emulsifiers in baked foods. In: Hasenhuettl G.L., Hartel R.W. (eds), Food emulsifiers and their applications. ITP, New York, 263-284.
- [3] Krog, N., 1971. Amylose Complexing Effect of Food Grade Emulsifiers, Starch, 23(6), 206-210.
- [4] Watzlawek, L., 2007. Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung von Emulgatoren bei der Weizenteigherstellung, Technikerarbeit, Staatliche Fachschule für Lebensmitteltechnik Berlin, Fachbereich Bäckereitechnologie.
- [5] O'Brien, C.M., Mueller, A., Scannell, A.G.M., Arendt, E.K., 2003. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread, Journal of Food Engineering, 56, 265-267.
- [6] Nunes, M.H.B., Moore, M.M., Ryan, L.A.M., Arendt, E.K., 2009. Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters, Eur. Food Res. Technol., 228, 633-642. +++