

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОРТОВ ФАСОЛИ
ОБЫКНОВЕННОЙ ДЛЯ СИБИРСКОГО РЕГИОНА****О.Е. Якубенко**, аспирант**О.В. Паркина**, кандидат сельскохозяйственных наук
доцент**Д.А. Колупаев**, аспирант**З.В. Андреева**, доктор биологических наук доцент

Новосибирский государственный аграрный университет

E-mail: o.e.yakubenko@yandex.ru

Ключевые слова: фасоль обыкновенная, сорт, моделирование, модель сорта, параметры модели, отбор, урожайность, Западная Сибирь

Реферат. *Разработка модели сорта, пригодного для конкретных почвенно-климатических условий, на сегодняшний день является актуальным направлением в селекции культурных растений. Сочетание ценных генотипов культуры, которое основывается на гибридизации, свободном опылении, мутагенезе, позволяет вывести новые перспективные образцы. Выделение параметров модели сорта дает возможность селекционеру эффективно и экономически выгодно создавать сорта культурных растений, имеющие оптимальные признаки и свойства, характерные для конкретной зоны возделывания. Но необходимо понимать, что даже при детальной проработке параметров нового сорта, основывающейся на конкретных результатах исследования, модель является гипотетической. В первую очередь селекционер ориентируется на образную модель, которая составлена на основе оценки селекционного материала и выбора прототипа сортообразца с учетом признаков и свойств идеальной модели сорта. В какой-то мере нивелировать отмеченную неизбежную субъективность призваны методики селекционного и генетического анализа для оценки селекционной ценности гибридных комбинаций. При составлении модели идеального сорта селекционер опирается на почвенно-климатические условия конкретного региона, основные хозяйственно-ценные признаки культуры, изучение результатов предыдущих исследователей и применяет интуитивно-эмпирические критерии оценки селекционного материала. За период с 1997 г. по настоящее время на базе кафедры селекции, генетики и лесоводства изучено более 150 селекционных образцов разного эколого-географического происхождения, полученных на основе межсортной гибридизации. Образцы изучены по основным хозяйственно-ценным признакам: продолжительности вегетационного периода, характеру роста, наличию пергаментного слоя и волокна в шве. Проведена оценка изменчивости указанных признаков с установлением корреляционных связей и характера наследования отдельных признаков.*

MODERN PRINCIPLES OF GARDEN BEAN VARIETIES MODELING IN SIBERIA**Iakubenko O.E.**, PhD-student**Parkina O.V.**, Candidate of Agriculture, Associate Professor**Kolupaev D.A.**, PhD-student**Andreeva Z.V.**, Doctor of Biological Sc., Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University

Key words: garden bean, variety, modelling, variety model, the parameters of the model, selection, crop yield, western Siberia.

Abstract. The development of a variety model suitable for specific soil and climatic conditions is currently an urgent matter in the plants selection. The combination of valuable genotypes of a plant, which is based on hybridization, free pollination, mutagenesis, allows researchers to derive new perspective samples. The selection of the variety model parameters enables the researchers to create cultivated plant varieties that have appropriate characteristics of a particular cultivation zone on an efficient basis. But it is necessary to understand that the model is hypothetical even in case of conducting detailed study of parameters of a new variety based on concrete results of research. First of all, the crop breeder is guided by the imaginary model, which is based on the evaluation of the breeding material and the selection of the variety sample prototype, taking into account the features and properties of the ideal variety model. To a certain extent, the methods of crop breeding and genetic analysis applied in order to assess the breeding value of hybrid combinations are designed to level the inevitable subjectivity noted. When compiling the model of the ideal variety the breeder uses the data on soil and climate conditions of a particular region, the main economic and valuable features of a crop, the results of other researchers and applies intuitive and empirical criteria for evaluating the breeding material. Since 1997 the Chair of Breeding, Genetics and Forestry explored more than 150 breeding samples of different ecological-geographical origin, obtained on the basis of intervarietal hybridization. The samples were studied according to the main economic and valuable features: growing season, growth character, presence of parchment layer and fibers in the seam. Variability of the mentioned features has been estimated by means of correlation links and character of inheritance of separate features.

Фасоль обыкновенная во всем мире является доминирующей зернобобовой продовольственной культурой. Включение фасоли в севооборот – шаг к экологизации земледелия за счет обогащения почвы естественным азотом. Культура характеризуется высоким полиморфизмом признаков и свойств [1]. Растения фасоли обыкновенной различаются по высоте, типу роста, форме и плотности куста, по уровню расположения бобов на стеблях, а также продолжительности периода вегетации.

С учетом экологии исходного материала построена ботаническая классификация фасоли. Установлено 30 экотипов. На территории Российской Федерации культивируются сорта фасоли обыкновенной в основном трех экотипов: северной лесной зоны, лесостепной зоны, степной зоны [2, 3].

Выделение параметров модели сорта дает возможность селекционеру эффективно и экономически выгодно создавать сорта культурных растений, имеющие оптимальные признаки и свойства, характерные для конкретной зоны возделывания.

Сорт как основа технологии возделывания любой культуры является результатом слож-

ного взаимодействия «генотип – среда», так как может реализовать потенциал по выходу продукции и свои технологические качества только в определенных почвенно-климатических условиях [4, 5]. При создании нового сорта и отборе лучших генотипов необходимо учитывать экологическую нишу, где выбранный генотип позволит получить качественный продукт с высокой урожайностью и проявлением экологической стабильности [6–8].

В последнее время приобретает актуальность изучение вопросов адаптивности и экологической пластичности сортов и форм с учетом зональных характеристик [9]. Создание пластичной эколого-генетической модели перспективного сорта фасоли обыкновенной позволит расширить ареал возделывания культуры.

При составлении модели перспективного сорта описываются важнейшие параметры культуры, дается оценка количественных и качественных признаков, изменяющихся под влиянием гидротермических условий [10, 11].

В разработке основных параметров оптимальной модели сорта фасоли овощного назначения в нашей работе использовались со-

рта, которые по своей продуктивности и качеству зелёных бобов имеют преимущество на основании многолетней оценки при возделывании в условиях Сибири, в ходе проведения которой изучено более 100 коллекционных образцов фасоли обыкновенной с кустовым типом роста.

Цель исследования – выделить генетические источники ценных признаков фасоли овощной, параметры которых в большей степени подходили бы для моделирования новых сортов культуры для условий Сибирского региона.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На базе УПХ «Сад мичуринцев» Новосибирского ГАУ в 2015–2019 гг. проведен опыт по изучению хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов фасоли овощного направления.

Опытный участок расположен на склоне Приобского плато в дренированной лесостепи. Поле, окруженное лесозащитной полосой, разделено на делянки площадью 2,1 м². Норма высева фасоли овощной составляла 22 шт/м².

Климат Западной Сибири резко-континентальный. Весенний и осенний периоды отличаются неустойчивыми погодными условиями, часто наблюдаются возвратные заморозки. Средняя продолжительность безморозного периода – 117 суток (от 91 до 130). Средняя продолжительность солнечного сияния – 2151 ч. Вегетационный период варьирует от 150 (север Западной Сибири) до 163 суток (юг Западной Сибири).

Средняя годовая сумма осадков – 414 мм (от 290 до 540). До 70% осадков выпадает в виде проливных дождей, сопровождающихся грозой. Преобладающие ветры – юго-западные и южные. Для южных степных районов Западной Сибири характерна засушливость, что негативно сказывается на развитии сельского хозяйства.

Почва на опытном поле является серой лесной тяжелосуглинистой. Для данного

типа почвы характерно содержание гумуса около 4,5%, слабокислая реакция среды (рН 6,0–6,5). Обеспеченность по элементам: подвижным фосфором – повышенная (9,8–12,8 мг/100 г), подвижным калием – средняя (6,2–6,4 мг/100 г), а нитратным азотом – низкая (6–10 мг/кг).

В качестве объекта исследования были выбраны 17 сортов фасоли обыкновенной овощного направления использования (*Phaseolous vulgaris* L.) с кустовым типом роста разного эколого-географического происхождения.

Сорт-стандарт – Солнышко совместной селекции Новосибирского ГАУ и СибНИИРС. Сорт среднеспелый, обладающий детерминантным кустовым типом стебля, высота растения варьирует от 45 до 50 см. Техническая спелость у сорта наступает спустя 50–55 суток с момента появления полных всходов. Окраска цветков белая, размер средний. В технической спелости бобы слабоизогнутые, светло-желтой окраски, с округлым поперечным сечением, без волокна и пергаментного слоя, длина достигает 14 см, имеется длинный клювик. Высота прикрепления нижнего боба 11,3–11,8 см. Товарная урожайность бобов достигает 20,0 т/га. Образец отличается высокой степенью адаптации к сибирским условиям, обладает высоким качеством бобов и стабильной урожайностью зеленой лопатки и семян в условиях резко-континентального климата Западной Сибири.

При проведении фенологических наблюдений руководствовались Методическими указаниями по коллекции мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение (СПб., 2010).

Морфологическое описание растений проводили по Методическим указаниям по изучению образцов мировой коллекции фасоли (Л., 1987) дважды: в период массового цветения и технической спелости.

Массу бобов учитывали в фазу технической спелости, собирая с 10 фиксированных растений все сформированные бобы. Сборы

проводили 3 раза с начала созревания через каждые 7 суток. Подсчитывали также число и массу бобов.

Посевные качества семян определяли по ГОСТ 28.671–90: массу 1000 семян, энергию прорастания и всхожесть в лабораторных условиях (в песке на 4-е и 10-е сутки соответственно).

На момент посева в 2015–2016 гг. температура воздуха и почвы была оптимальной для получения дружных всходов фасоли обыкновенной, что позволяло прогнозировать высокий и качественный урожай зеленых бобов. Соотношение температуры и влажности в 2015–2016 гг. позволило достигнуть оптимальных условий при посеве, почва прогрелась до 12°C, что соответствует биологическому минимуму для прорастания семян культуры. В третьей декаде мая 2017 г. наблюдался дефицит влаги, что увеличило продолжительность периода «посев – всходы» на 5–7 суток.

Фенофаза «всходы – цветение» определяет длительность периода плодоношения бобов, которая зависит от теплообеспеченности года и генотипа сорта. В годы с оптимальным температурным режимом массовое цветение приходится на третью декаду июня – первую декаду июля.

В 2015–2017 гг. оптимальная температура воздуха (21°C) для этой фенофазы способствовала дружному цветению и плодоношению сортообразцов.

В 2018 г. наблюдается увеличение длительности периода цветения, что связано с недостаточной теплообеспеченностью года, в связи с этим период плодоношения сдвинулся на конец третьей декады июля. Из-за пониженной температуры и высокой влажности период плодоношения у фасоли овощной затянулся, и урожай зеленых бобов снизился.

В 2019 г. в фенофазу «всходы – цветение» наблюдается дефицит влаги, что сказалось на вегетативной массе растений фасоли обыкновенной и снизило урожай зеленых бобов.

Фенофаза «цветение – техническая спелость» важна при организации конвейера зеленых бобов в производственном отношении. Длительность периода технической спелости

зависит от агротехнических и гидротермических условий.

В 2015 и 2016 гг. гидротермический режим благоприятствовал активному плодоношению и раннему наступлению технической спелости сортов. Наблюдалась оптимальная температура для данного периода в пределах 20–23°C.

В августе 2019 г. среднемесячная температура составила 18,4 °C, что на 2,2 °C выше нормы, осадков выпало 33% от нормы, что способствовало быстрому переходу культуры в фазу биологической спелости.

В целом гидротермические условия в годы исследования характеризовались контрастностью: от оптимальных до избыточной увлажненности, что позволило объективно оценить изучаемые сорта.

Математическую обработку данных проводили при помощи программного обеспечения SNEDECOR по методике Б. А. Доспехова. При составлении модели перспективного сорта опирались на факторный анализ и разработку факторной модели согласно рекомендациям по эколого-генетическому планированию факторных опытов В. А. Драгавцева (1997), Ю. Н. Тюрина и А. А. Макарова (1993), В. Б. Яковлева (2005), М. Р. Мидлтона (2005), В. В. Глуховцева и др. (2006) на базе параметрического и непараметрического статистического анализа с использованием пакета прикладных программ STATISTICA [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведена оценка коллекционных образцов по основным хозяйственно-ценным признакам: числу бобов на растении, массе бобов с растения, массе 1 боба, урожайности зеленых бобов. Полученные данные представлены в табл. 1.

В селекционной работе при создании новых сортов возникает сложность совмещения в одном генотипе показателей высокой продуктивности и широкой экологической пластичности. Поэтому при разработке модели

Таблица 1

Межсортовая изменчивость основных элементов продуктивности сортов фасоли обыкновенной овощного направления

Intervarietal variability of the main productive elements of the garden beans

Сорт	Число бобов на растении, шт.	Масса бобов с 1 растения, г	Масса 1 боба, г	Урожайность, кг/м ²
Солнышко (стандарт)	26	125,7	4,6	2,3
Ника	27	150,2	4,9	2,5
Секунда	24	114,0	4,2	2,2
Дарина	20	128,8	6,4	2,3
Вероника	21	105,7	4,9	2,3
Rocquentant	16	111,8	5,1	2,1
Peak	15	65,2	5,8	1,6
Виола	21	134,4	5,8	2,6
Greta	21	167,8	3,9	3,0
Украинка	23	109,7	5,1	1,8
Золушка	18	107,6	5,3	2,4
Domsol	18	130,4	5,2	2,3
Перун	22	112,0	5,1	1,8
Украинка	22	104,4	4,8	1,8
Орбель желтая	26	138,0	4,4	2,4
Olhensia	23	141,6	4,8	2,5
Sunray	22	129,4	5,5	2,3
НСП ₀₅				0,1

перспективного сорта важно учитывать природно-климатические зоны возделывания.

Большой интерес для создания модели сорта представляют раннеспелые и среднеспелые образцы: Ника, Дарина, Секунда, Орбель желтая, Greta, Золушка, Olhensia. Эти сорта отличаются скороспелостью, высокой урожайностью, технологичностью выращивания, отличным качеством зеленых бобов.

Для выращивания фасоли в производственных масштабах необходимо учитывать не только высокую продуктивность образцов, но также скороспелость и технологические качества культуры. При подборе сортообразцов, пригодных для механизированной уборки, производители отдают предпочтение сортам с небольшим количеством ветвей, отходящих от главного стебля под острым углом, и высотой прикрепления нижнего боба выше 12 см. Данному критерию соответствуют сорта Солнышко, Виола, Дарина.

При оценке сортов по урожайности и устойчивости к неблагоприятным гидро-термическим условиям необходимо отдавать предпочтение образцам с оптимально сбалан-

сированным развитием всех хозяйственно-ценных признаков.

С учетом результатов изучения коллекции фасоли обыкновенной по морфобиологическим признакам и показателей корреляционного анализа нами определены параметры модели перспективного сорта фасоли обыкновенной для Западной Сибири. В качестве генетических источников рекомендуются сортообразцы, выделенные в результате изучения коллекции по основным хозяйственно-ценным признакам. При реализации модели нового сорта предусматривается повышение общей урожайности, сокращение вегетационного периода, формирование компактного типа куста, улучшение биохимического состава бобов и семян. Параметры модели перспективных сортов фасоли обыкновенной и источники индивидуальных характеристик представлены в табл. 2. В селекции фасоли овощной следует ориентироваться на разработанные нами параметры модели сорта.

Таблица 2

Параметры модели перспективных сортов фасоли обыкновенной и источники индивидуальных характеристик

The model parameters of perspective garden bean varieties and sources of individual characteristics

Характеристики	Параметры	Генетические источники
Форма боба	Округлая, продолговато-округлая	Rocquentcant, Ника, Солнышко, Дарина
Окраска бобов	Зеленая	Ника, Дарина
Высота прикрепления нижнего боба, см	14	Дарина, Greta
Длина боба	12	Rocquentcant, Sunray, Ника, Дарина
Угол отклонения боковых ветвей от центральной оси растения, град.	10–12	Ника, Солнышко, Загадка, Greta
Количество бобов с растения, шт.	> 25	Ника, Солнышко, Дарина
Масса 1 боба, г	4,5–6,0	Ника, Дарина, Украинка
Массовая доля сухого вещества, %	> 9	Ника
Массовая доля белка, %	> 6,5	Ника
Массовая доля сырого протеина, %	> 1,2	Ника, Солнышко
Масса 1000 семян, г	300–400	Солнышко, Ника, Махі
Средняя урожайность бобов, т/га	20–25	Солнышко, Ника, Махі, Дарина
Тип роста и форма куста	Детерминантный, компактный	Солнышко, Ника, Дарина
Вегетационный период, сутки	45–50	Ника, Дарина, Секунда

ВЫВОДЫ

1. Условия Западной Сибири по гидро-термическому режиму в целом соответствуют биологическим требованиям фасоли обыкновенной, продуктивность сортов зависит от гидро-термических условий конкретного года.

2. Изучен селекционный материал по степени адаптивности к условиям выращивания и определены основные параметры эколого-

генетической модели сорта фасоли обыкновенной овощного направления для возделывания в условиях Западной Сибири.

3. Для повышения эффективности селекционного процесса фасоли овощной в условиях Сибирского региона рекомендовано использовать в качестве источников хозяйственно-ценных признаков образцы Солнышко, Ника, Дарина, Секунда, Махі, Rocquentcant, Sunray, Greta.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вишнякова М.А. Генофонд зернобобовых культур и адаптивная селекция как факторы биологизации и экологизации растениеводства (обзор) // С.-х. биология. – 2008. – № 3. – С. 3–23.
2. Якубенко О.Е., Паркина О.В. Выраженность и изменчивость хозяйственно-ценных признаков фасоли обыкновенной в зависимости от генотипа и условий выращивания // Молодежь и наука XXI века: материалы междунар. науч. конф. / Ульян. гос. аграр. ун-т им. П. А. Столыпина. – Ульяновск, 2017. – С. 136–140.
3. Якубенко О.Е., Паркина О.В. Перспективные генотипы фасоли овощной // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосиб. гос. аграр. ун-та. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2018. – С. 56–59.
4. Inheritance of resistance to common bacterial blight in four selected common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes/ M.E. Alladassi, S. Nkaludo, C. Mukankusi [et al.] // Journal of Plant Breeding and Crop Science. – 2017. – N 9 (6). – P. 71–78. – DOI: 10.5897/JPCS2017.0644.
5. Allen F.L., Comstock R.E., Rasmusson D.C. Optimal environments for yield testing // Crop. Sci. – 1978. – Vol. 18, N 5. – P. 747–751.

6. Belarmino D. Inheritance of resistance to common bacterial blight (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) disease and yield of common bean // Master thesis. – Makerere University. – 2015. – Vol. 10, N 2. – P. 574–578.
7. A whole genome DArTseq and SNP analysis for genetic diversity assessment in durum wheat from central fertile crescent / F.S. Baloch, A. Alsaleh, M.Q. Shahid [et al.] // PLoS one. – 2017. – Vol. 12 (1). – P. 875–879. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167821> PMID: 28099442
8. Beans as a Model for Understanding Crop Evolution / E. Bitocchi, D. Rau, E. Bellucci [et al.] // Front Plant Sci. – 2017. – Vol. 8. – P. 1063–1066. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00722> PMID: 28533789
9. Inheritance of resistance to common bacteria blight in four selected common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes / M.E. Boris, T. Stanley, C. Mukankusi [et al.] // Journal of Plant Breeding and Crop Science. – 2017. – Vol. 6. – P. 473–476.
10. A *Phaseolus vulgaris* diversity panel for Andean bean improvement / K.A. Cichy, T. Porch, J.S. Beaver [et al.] // Crop Sci. – 2015. – Vol. 10. – P. 2149–2160. – DOI:10.2135/crop-sci2014.09.0653.
11. Characterization of genetic diversity in Turkish common bean gene pool using phenotypic and whole-genome DArTseq-generated silicoDArT marker information/ M.A. Nadeem, E.C. Hab-yarimana, M.A. Nawaz [et al.] // PLoS one. – 2018. – Vol. 13 (10). – P. 953–967, e0205363. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205363>
12. The potential of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification / N. Petry, E. Boy, J.P. Wirth, R.F. Hurrell [et al.] // Nutrients. – 2015. – Vol. 7 (2). – P. 1144–1173. – URL: <https://doi.org/10.3390/nu7021144> PMID: 25679229

REFERENCES

1. Vishnyakova M.A. S. – *kh. biologiya*, 2008, No 3, pp. 3–23. (In Russ.)
2. Yakubenko O.E., Parkina O.V. *Molodezh' i nauka XXI veka* (Youth and Science), Proceedings of International Conference, Ul'yanovsk, 2017, pp. 136–140. (In Russ.)
3. Yakubenko O.E. Parkina O.V. *Aktual'nye problemy agropromyshlennogo kompleksa* (Actual problems of the agro-industrial complex), Proceedings of Science and practice Conference, Novosibirsk, ITs NGAU Zolotoi kolos, 2018, pp. 56–59. (In Russ.)
4. Alladassi M.E., Nkaludo S., Mukankusi C., Mwale E., Gibson P., Edema R., Urrea C., Kelly J., Rubaihayo P. Inheritance of resistance to common bacterial blight in four selected common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2017, No 9 (6), pp. 71–78, DOI: 10.5897/JPBCS2017.0644.
5. Allen F.L., Comstock R.E., Rasmusson D.C. Optimal environments for yield testing, *Crop. Sci.*, 1978, Vol. 18, No 5, pp. 747–751
6. Belarmino D. Inheritance of resistance to common bacterial blight (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) disease and yield of common bean, *Master thesis*, Makerere University, 2015, Vol. 10, No2, pp.574–578
7. Baloch F.S., Alsaleh A., Shahid M.Q. A whole genome DArTseq and SNP analysis for genetic diversity assessment in durum wheat from central fertile crescent, *PloS one*, 2017, Vol. 12, No 1, pp. 875–879, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167821> PMID: 28099442
8. Bitocchi E., Rau D., Bellucci E., Rodriguez M., Murgia M.L., Gioia T. Beans (*Phaseolus* spp.) as a Model for Understanding Crop Evolution, *Front Plant Sci*, 2017, Vol. 8, pp. 1063–1066, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00722> PMID: 28533789
9. Boris M.E., Stanley T., Mukankusi C., Eric S., Gibson P., Edema R., Urrea A., Kelly J.D., Rubaihayo P.R. Inheritance of resistance to common bacteria blight in four selected common

-
- bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2017, Vol. 6., pp. 473–476
10. Cichy K.A., Porch T., Beaver J.S., Cregan P.B., Fourie D., Glahn R., Grusak M., Kamfwa K., Katuuramu D., McClean P., Mndolwa E., Nchimbi-Msolla S., Pastor-Corrales M.A., Miklas P.N. A *Phaseolus vulgaris* diversity panel for Andean bean improvement, *Crop Sci.*, 2015, pp. 2149–2160, doi:10.2135/cropsci2014.09.0653.
11. Nadeem M.A., Habyarimana E.C., Nawaz M.A. Characterization of genetic diversity in Turkish common bean gene pool using phenotypic and whole-genome DArTseq-generated silicoDArT marker information, *PLoS one*, 2018, Vol. 13, No 10, pp. 953–967, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205363>
12. Petry N., Boy E., Wirth J.P., Hurrell R.F. The potential of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification, *Nutrients*, 2015, Vol 7, No 2, pp. 1144–1173 <https://doi.org/10.3390/nu7021144> PMID: 25679229