

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТОКОФЕРОЛОВ РАПСА ОЗИМОГО

Н.А. Глухова,

кандидат сельскохозяйственных наук

В.В. Поздняков,

кандидат биологических наук

Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН
Украина, 61060, г. Харьков, пр. Московский, 142
E-mail: gluhovanet@mail.ru

Ключевые слова: рапс озимый, сорт, погодные условия, токоферол, изомеры

Приведены результаты изучения содержания и состава изомеров токоферола у 18 сортов рапса озимого. Исследования проводились в ИР им. В.Я. Юрьева, г. Харьков, Украина, на хроматографической системе Smartline. Для анализа были взяты семена рапса озимого, выращенные в контрастных по метеоусловиям годах; 2009 г. по комплексу факторов был благоприятен для роста и развития рапса, а 2013 г. отличался крайне засушливой погодой на протяжении всей вегетации. Жесткие условия 2013 г. показали более тесную, нежели условия 2009 г., положительную связь количества токоферолов с суммой положительных температур ($r = 0,68$), продолжительностью налива семян ($r = 0,66$), количеством выпавших осадков ($r = 0,63$). Повышение среднесуточной температуры негативно влияло на накопление токоферолов ($r = -0,53$). Большинство сортов по количеству токоферолов оказались хорошо адаптированы к различным условиям среды, коэффициент регрессии $b \leq 1$, сорта Livius и Света оказались более требовательными к условиям выращивания, коэффициент регрессии $b = 1$. Показана дифференциация сортов рапса озимого по содержанию и изомерному составу токоферолов в различных погодных условиях. Впервые определено, что в критических условиях, при которых проходит налив семян, возможно наличие в рапсовом масле δ -токоферола.

UDC 633.853.494:581.1

Influence of the weather conditions on qualitative and quantitative composition of tocopherols in winter rapeseed.

Glukhova N.A., candidate of agriculture

Pozdnyakov V.V., candidate of biology

The Plant Production Institute nd. a. V.Ya. Yuryev of NAAS
142, Moskovsky pros., Kharkov, 61060, Ukraine
gluhovanet@mail.ru

Key words: winter rapeseed, variety, weather conditions, tocopherol, isomers

There were investigated content and isomer composition of tocopherol in 18 rapeseed varieties. The researches were conducted in the Plant Production Institute nd. a. V.Ya. Yuryev, Kharkov, Ukraine, on chromatographic system Smartline. There were analyzed the seeds of winter rapeseed grown up under contrasting weather conditions in different years; 2009 was favorable for the growth and development of the rapeseed plants on a range of factors, and 2013 was differed extremely with dry weather throughout the growing season. Heavy weather conditions of 2013 have shown more close positive connection between tocopherols quantity and a sum of positive temperatures ($r = 0.68$), the duration of seeds forming ($r = 0.66$), the amount of precipitations ($r = 0.63$) in comparison with weather conditions of 2013. An increasing of average daily temperature negatively effected the accumulation of tocopherols ($r = 0.53$). The most varieties on tocopherols quantity appeared to have a good adaptability to different environments, the regression coefficient $b \leq 1$, and the better growing conditions are necessary for the varieties Livius and Sveta, the regression coefficient $b = 1$. Differentiation of winter rapeseed varieties on the tocopherol content and isomer composition in tocopherols in various weather conditions is shown. For the first time it is determined that the critical conditions during rapeseed seeds formation may cause the presence of δ -tocopherol in rapeseed oil.

Введение. Благоприятное течение метаболических процессов, а также оптимальное развитие всех органов растения и формирование качества полезной продукции у различных сельскохозяйственных культур гарантировано только при определенном сочетании факторов внешней среды. Любое отклонение от оптимального количества осадков, температурного режима, влажности почвы и воздуха приводит к проявлению компенсаторных процессов у растения [1] и изменению биосинтеза веществ. Это свойственно и достаточно неустойчивым по структуре своего построения веществам: ферментам, витаминам.

Полезные свойства токоферолов, а также их роль в растительном организме достаточно хорошо изучены. Но при этом данные о влиянии метеорологических факторов на накопление и изомерный состав токоферолов носят отрывочный

характер. Чаще всего исследования проводились в регулируемых условиях воздействия определенного фактора [6; 9], и в большинстве случаев исследователи фокусировали внимание на нем, а не на регуляторных свойствах растения, которые всецело проявляются только при выращивании в открытом грунте.

Материалы и методы. Исследования проводили в контрастных условиях 2009 и 2013 гг. В целом 2009 г. был благоприятен для роста и развития рапса озимого как по влагообеспечению, так и по температурному режиму. 2013 г. характеризовался резким повышением температуры после возобновления весенней вегетации и нехваткой осадков на фоне высокого температурного режима на протяжении всей вегетации.

В качестве исходного материала использовали 18 сортов рапса озимого селекции Германии, Чехии, Беларуси, России и Украины. По содержанию глюкозинолатов и эруковой кислоты сорта относились к «00» типу. Исследования проводили в полевых и лабораторных условиях Института растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН, г. Харьков, Украина.

Анализ изомерного состава и общего содержания токоферолов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в изократическом режиме нормально-фазового разделения согласно ДСТУ EN 12822:2005 на хроматографической системе Smartline фирмы Knauer (Германия). Колонка Eurospher II 100 – 5 – Si 250 × 4, подвижная фаза: 0,5%-ный раствор изопропилового спирта в н-гексане (LiChrosolv, Merck), температура колонки 28 °С. Фотометрирование осуществляли УФ-детектором при 295 нм. Пики на хроматограмме идентифицировали по времени удержания, в качестве стандарта использовали набор стандартов токоферолов фирмы Merck. Навески образцов по 4 г заливали 9 мл петролейного эфира, экстракцию проводили в течение суток в темноте, фильтровали и вводили в колонку (20 мкл). Хроматографирование про-

водили в трехкратной повторности. Процентное содержание изоформ токоферола определяли по площадям пиков с помощью программы ClarityChrom.

Оценку влияния погодных факторов на качественный и количественный состав токоферолов у рапса озимого проводили с помощью коэффициента корреляции (r). Адаптивность сортов рассчитывали по методике Eberhart S.A., Russel W.A. [7] на основании вычисления коэффициента регрессии (b).

Результаты и обсуждения. У рапса достаточно сложно определить четкие границы периода, во время которого происходит налив семян, по своей сути это непрерывный процесс, так как на одном растении одновременно протекает несколько этапов органогенеза (IX–XII, согласно классификации Э.Б. Бочкаревой), во время которых происходит накопление и дифференциация токоферолов. Причиной тому является продолжительное цветение растений рапса озимого, которое в зависимости от погодных условий года длится приблизительно 40–50 суток. Поэтому для описания условий, при которых происходит налив семян, был взят период от начала цветения и до полной спелости семян.

Разница по продолжительности периода начало цветения – полная спелость в годы исследований достигала 3,5 суток. В 2009 г. он длился от 70 до 79 суток, в среднем по опыту достигал 75,4 суток. В 2013 г. период начало цветения – полная спелость длился от 69 до 75 суток, в среднем по опыту достигал 71,9 суток (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика периода начало цветения – полная спелость рапса озимого по годам

Год исследования	Количество суток	Количество осадков, мм	Сумма температур, °С	
			положительных	эффективных
2009	70–79	87,1–97,4	1383,8–1510,4	693,8–730,4
2013	69–75	79,5–94,8	1523,5–1645,5	861,4–895,5

По количеству осадков за период начало цветения – полная спелость годы исследований отличались на 3,8 мм. В 2009 г. выпало от 78,1 до 97,4 мм осадков, в среднем сорта рапса получили 90,8 мм. В 2013 г. осадков выпало от 79,5 до 94,8 мм, в среднем сорта рапса получили 87,0 мм.

Существенные различия по годам отмечались по температурному режиму. За период начало цветения – полная спелость сумма эффективных температур в 2013 г. по сравнению с другими годами была выше на 165,1 °С, а температурный фон был высоким и равномерным на протяжении всего периода (рис. 1). Среднесуточная температура периода в 2013 г. достигала 22,2 °С, что на 2,8 °С выше среднесуточной температуры периода 2009 г.

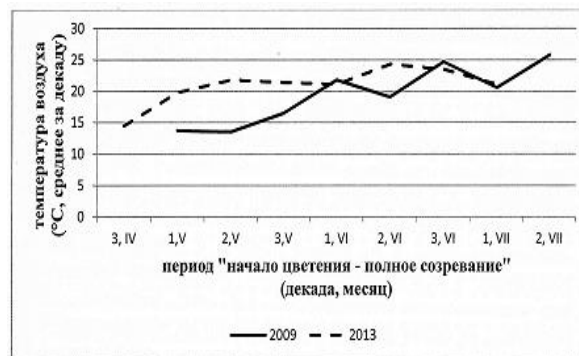


Рисунок 1 – Температурный режим периода начало цветения – полное созревание семян рапса озимого в годы исследований

На основании вышеизложенного возник вопрос, как влияют погодные условия на продолжительность периода начало цветения – полная спелость у рапса озимого.

Наши исследования показали, что существует тесная положительная связь между продолжительностью периода начало цветения – полная спелость и количеством выпавших осадков (табл. 2). Коэффициент корреляции (r) в 2009 г. составлял 0,98, в 2013 г. – 0,92. Между продолжительностью этого периода и среднесуточной температурой обнаружена отрицательная связь. Коэффициент корреляции в 2009 г.

составлял -0,98, в 2013 г. – -0,51. Полученные данные показывают, что с повышением «комфортности» года, то есть с улучшением водообеспечения и наличии умеренных температур, влияние погодных факторов на продолжительность периода начало цветения – полная спелость у рапса озимого более ощутимо. При этом коэффициент множественной корреляции в 2009 г. был равен 0,86, в 2013 г. – 0,89, что говорит о значительном влиянии совокупного действия среднесуточной температуры и количества осадков на продолжительность этого периода.

Таблица 2

Содержание α -, γ - и общего количества токоферолов (мг%) в семенах рапса озимого в зависимости (r) от условий года

Показатель	α -токоферол		γ -токоферол		Общее количество токоферолов	
	2009	2013	2009	2013	2009	2013
Содержание токоферолов						
Min	12,97	12,84	17,17	17,35	30,03	31,70
Max	16,50	17,73	21,42	27,87	38,47	42,63
Среднее	14,73	14,26	21,97	19,20	37,02	33,88
Корреляция с условиями года						
Сумма положительных температур (°С)	0,36	0,31	0,43	0,66	0,49	0,68
Сумма эффективных температур (°С)	0,42	0,29	0,32	0,67	0,53	0,67
Количество осадков (мм)	0,35	0,45	0,25	0,64	0,56	0,63
Среднесуточная температура воздуха (°С)	-0,47	-0,09	-0,35	-0,17	-0,53	-0,16
Корреляция с продолжительностью периода (сутки)	0,34	0,32	0,43	0,62	0,54	0,66

Ухудшение условий для роста и развития растений рапса показало существенное влияние погодных факторов на общее содержание токоферолов (см. табл. 2). Так, в условиях 2013 г. общее содержание токоферолов имело тесную положительную связь с суммой положительных температур $r = 0,68$, суммой эффективных температур $r = 0,67$, продолжительностью периода налива $r = 0,66$, количеством выпавших осадков $r = 0,63$. Следует отметить, что соответствующие коэффициенты корреляции в 2009 г. были гораздо ниже. Однако влияние среднесуточной температуры воздуха на содержание токоферолов имело отрицательный характер, при этом более тесная связь наблюда-

лась в 2009 г. – благоприятном для роста и развития растений рапса ($r = -0,53$).

Были определены различия в реакции сортов рапса озимого на условия года. В таблице 3 показано, что при повышенном температурном режиме 2013 г., по сравнению с 2009 г., большинство сортов сформировали в семенах меньшее количество токоферолов, исключение составляют сорта Шпак и Северянин, сформировавшие в семенах большее количество токоферолов – на 0,09 и на 3,45 мг% соответственно.

В наших исследованиях коэффициент регрессии признака «количество токоферолов» у большинства сортов оказался в пределах $b \leq 1$. То есть, эти сорта являются хорошо адаптированными к различным условиям среды и тем самым наиболее пластичными. У сортов Livius и Света коэффициент регрессии был $b = 1,1$, то есть данные сорта являются более требовательными к условиям выращивания – для увеличения количества токоферолов им требуется повышенная «комфортность» года.

Литературные данные [4; 5; 12] по изучению изомерного состава токоферолов растительных масел различных сельскохозяйственных культур противоречивы. Это может свидетельствовать о высокой дифференциации признака и его зависимости от ряда факторов, которые сопровождают жизненный цикл растения, а также от генетических особенностей сорта.

В семенах рапса озимого, выращенных в благоприятных условиях 2009 г., нами были идентифицированы α - и γ -токоферол – основные изомеры токоферола, свойственные рапсу [3; 15]. В семенах, выращенных в 2013 г., был идентифицирован также и δ -токоферол (см. табл. 3). Содержание δ -токоферола варьировало от 0,38 мг% у сорта Козерог до 0,72 мг% у сорта Атлант. Ссылаясь на литературные данные Надирова (1991), Traber, Atkinson (2007) и экспериментальные данные, полученные на амаранте Umaiyal

Munusamy, Siti Nor Akmar Abdullah and et al. (2013), вероятной причиной таких изменений можно назвать замедление метилирования δ -токоферола.

Наши исследования показали, что влияние погодных факторов на изомерный состав токоферолов имеет неоднозначный характер (см. табл. 2). Количество γ -токоферола в зависимости от погодных условий изменялось так же, как и общее количество токоферолов. То есть с ухудшением условий для роста и развития растений рапса, что было характерным 2013 г., возрастает взаимосвязь содержания γ -токоферола с: суммой положительных температур ($r = 0,66$), суммой эффективных температур ($r = 0,67$), продолжительностью периода налива семян ($r = 0,62$), количеством выпавших осадков ($r = 0,64$). Однако наши исследования показали, что влияние среднесуточной температуры воздуха на содержание γ -токоферола было негативным. При этом отрицательное влияние увеличивалось с повышением «комфортности» года, в 2009 г. $r = -0,47$.

Таблица 3

Содержание токоферолов в семенах рапса озимого, 2009 и 2013 гг. (мг %)

Название образца	Страна-оригинатор	Изомеры токоферолов						Σ токоферолов	
		α -Т		γ -Т		δ -Т		2009	2013
		2009	2013	2009	2013	2009	2013		
Джеспер	Чехия	13,57	13,83	19,08	17,40	-	0,57	32,65	31,79
Slogan	Чехия	15,14	14,26	19,94	17,17	-	0,45	35,08	31,88
Litajet	Германия	14,90	12,97	25,38	20,90	-	0,48	40,27	34,35
Livius	Германия	14,76	14,34	27,87	19,90	-	0,60	42,83	34,84
Wotan	Германия	12,84	13,87	23,92	19,94	-	0,44	36,76	34,25
Шпак	Беларусь	15,27	13,67	20,33	21,42	-	0,58	35,59	35,68
Козерог	Беларусь	14,35	12,13	17,35	17,52	-	0,38	31,70	30,03
Северянин	Россия	15,98	16,50	19,04	21,47	-	0,51	35,02	38,47
Атлант	Украина	15,31	13,88	21,95	21,07	-	0,72	37,26	35,67
Чемпион Украины	Украина	15,64	15,24	22,50	18,61	-	0,46	38,14	34,31
Света	Украина	15,40	14,17	26,73	20,55	-	0,49	42,13	35,21
Галицкий	Украина	14,51	13,92	23,40	19,47	-	0,56	37,91	33,95
Дембо	Украина	17,45	15,64	26,15	20,03	-	0,41	43,60	36,08

Годы репродукции изучаемых сортов позволили определить особенности влияния метеоусловий на накопление α -токоферола. Тесная положительная взаимосвязь содержания α -токоферола была обнаружена с суммой положительных температур ($r = 0,99$, $r = 0,97$) и суммой

эффективных температур ($r = 0,86$, $r = 0,9$). Влияние продолжительности периода налива семян ($r = 0,34$, $r = 0,32$), а также количества выпавших осадков ($r = 0,35$) на содержание α -токоферола было позитивным, а среднесуточной температуры воздуха – негативным ($r = -0,35$, $r = -0,17$), но незначительным. Такую тенденцию можно объяснить тремя причинами: 1) *Высокая стабильность α -токоферола.* На основании общепризнанной современной концепции синтеза изомеров токоферола α -токоферол является конечным звеном, иными словами генетически детерминированным. То есть α -токоферол является более стабильным и пластичным веществом, менее подверженным действию внешних факторов. 2) *Независимый генетический контроль изомеров токоферола.* Согласно исследованиям Newton, Pennock (1971), утверждающих о различном местонахождении α - и γ -токоферолов в растительной клетке, и Goffman, Velasco, Becker (1999), свидетельствующих о независимом накоплении α - и γ -токоферолов, можно предположить независимый генетический контроль синтеза изомеров токоферола. Поэтому одни изомеры могут быть менее подвержены изменениям условий окружающей среды, другие, наоборот, сильнее. 3) *Биологические ресурсы растения.* Растения рапса озимого в отличие от растений рапса ярового проходят достаточно длительный период от момента всходов до цветения. Осенний и весенний периоды вегетации способствуют формированию мощного корня и корневой шейки – основных органов накопления питательных веществ. Благодаря этому в экстремальных условиях роста растения рапса озимого могут использовать внутренние запасы.

Также наши исследования показали, что в благоприятных условиях содержание токоферолов в семенах большинства сортов рапса озимого формируется за счет количества γ -токоферола, а в неблагоприятных условиях – за счет α -токоферола. Доля таких форм в наших исследо-

ваниях составила 69 %. Коэффициент регрессии в наших опытах показал широкий спектр действия метеоусловий на количественный состав изомеров токоферола в семенах рапса озимого. Коэффициент регрессии b находился в пределах 1,15–0,84.

Наиболее устойчивыми формами, которые при изменении условий произрастания сохранили количественное соотношение α - и γ -токоферолов, оказались сорта Шпак, Дема, Козерог, Северянин, Атлант, коэффициент регрессии α - и γ -изомеров у них был $b \leq 1$, что свидетельствует о высокой пластичности. Следует сказать, что данные сорта являются генетически различными, а также отличаются местом своего происхождения. Таким образом, среди разнообразия селекционного материала рапса озимого возможна идентификация тех форм, которые гарантировали бы получение масла с максимальным содержанием определенного изомера токоферола. Это свойство можно использовать при подборе сортового состава и акклиматизации сорта в конкретных почвенно-климатических условиях.

Выводы. На продолжительность периода налива семян рапса озимого существенное влияние оказывает совокупное действие среднесуточной температуры и количества выпавших осадков, коэффициент множественной корреляции 0,86 в 2009 г. и 0,89 – в 2013 г. При этом увеличение выпавших осадков продлевает, а высокие среднесуточные температуры сокращают его продолжительность.

Благоприятные условия для роста и развития растений рапса способствуют накоплению токоферолов. Максимальное количество токоферолов (37,02 мг%) в среднем по опыту было сформировано в 2009 г.

Резкое изменение (ухудшение) факторов внешней среды во время налива семян способствует изменению состава и количества изомеров токоферола. В семенах, выращенных в 2013 г., был идентифицирован δ -токоферол. Вероятной причиной может быть замедление трансме-

тирования δ -токоферола в неблагоприятных условиях налива семян.

Анализ полученного экспериментального материала позволил сделать следующие предположения по различию накопления растениями рапса озимого изомеров токоферола. Это высокая стабильность α -токоферола, независимый генетический контроль изомеров токоферола и биологические особенности растений озимого типа.

Сорта Шпак, Дема, Козерог, Северянин, Атлант сохраняют количественное соотношение α - и γ -токоферолов при различных погодных условиях года, коэффициент регрессии $b \leq 1$.

Список литературы

1. Лутун П. П. Генетический контроль и проблемы генетической защиты урожая зерна // Урожай и адаптивный потенциал экологической системы поля. – К., 1991. – С. 24–32.
2. Надиров Н. К. Токоферолы и их использование в медицине и сельском хозяйстве. – М.: Наука, 1991. – 236 с.
3. Шапанов Н. И. Масличные растения и маслообразовательный процесс. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. – 442 с.
4. Beveridge T.H.J, Girard B., Kopp T., Drover J.C.G Yield and composition of grape seed oils extracted by supercritical carbon dioxide and petroleum ether: varietal effects // Journal Agricultural Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53. – P. 1799–1804.
5. Crews C., Hough P., Godward J., Brereton P., Lees M., Guiet S., Winkelmann W. Quantitation of the main constituents of some authentic grape seed oils of different origin // Journal Agricultural Food Chemistry. – 2006. – Vol. 54. – P. 6261–6265.
6. David Dolde, Chris Vlahakis, Jan Hazebroek Tocopherolsin Breeding line sand effects of planting location, fatty acid composition, and temperature during development // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1999. – Vol. 76.
7. Eberhart S.A., Rassel W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. – 1966. – Vol. 6. – P. 132.
8. Goffman, F. D., L. Velasco, and H. C. Becker. Tocopherols accumulation in developing seeds and pods of rapeseed (*Brassica napus* L.). // Lipid. Fett. – 1999. – Vol. 101. – P. 400–403.
9. Haiyan Zhang, Thava Vasanthan, Mahinda Wettasinghe Enrichment of tocopherols and phytoosterols in canola oil during seed germination //

Journal Agricultural Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55. – P. 355–359.

10. *Maret G. Traber, Jeffrey Atkinson.* Vitamin E, antioxidant and nothing more // *Free Radical Biology & Medicine.* – 2007. – Vol. 43. – P. 4–15.

11. *Newton R.P., and J.F. Pennock.* The intracellular distribution of tocopherols in plants // *Phytochemistry.* – 1971. – Vol. 10. – P. 2323–2328.

12. *Ronald B. Pegg, Ryszard Amarowicz.* Content of tocopherol isomers in oil seed radish cultivars – a short report // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.* – 2009. – Vol. 59. – No. 2. – P. 129–133.

13. *Stephanine B. Combs, Gerald F., Combs Jr.* Varietal Differences in the vitamin E content of corn // *Journal Agricultural Food Chemistry.* – 1985. – Vol. 33. – P. 815–817.

14. *Umaiyal Munusamy, Siti Nor Akmar Abdullah, Maheran Abdul Aziz, Huzwah Khazaai, Lai Mun Seong.* Induced production of α -tocotrienol by cosuppression of tocopherol cyclase gene in vegetable crops // *American Journal of Biochemistry and Biotechnology.* – 2013. – Vol. 9. – No. 4. – P. 355–364.

15. *Volker Marwede, Antje Schierholt, Christian Mollers, Heiko C. Becker.* Genotypic environment interactions and heritability of tocopherol contents in canola // *Crop Science.* – 2004. – Vol. 44, May–June. – P. 728–731.

References

1. Litun P. P. Geneticheskii kontrol' i problemy geneticheskoi zashchity urozhaya zerna // *Urozhai i adaptivnyi potentsial ekologicheskoi sistemy polya.* – K., 1991. – S. 24–32.

2. Nadirov N. K. Tokoferoly i ikh ispol'zovanie v meditsine i sel'skom khozyaistve. – M.: Nauka, 1991. – 236 s.

3. Sharapov N. I. Maslichnye rasteniya i masloobrazovatel'nyi protsess. – M.-L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1959. – 442 s.

4. *Beveridge T.H.J, Girard B., Kopp T., Drover J.C.G.* Yield and composition of grape seed oils extracted by supercritical carbon dioxide and petroleum ether: varietal effects // *Journal Agricultural Food Chemistry.* – 2005. – Vol. 53. – P. 1799–1804.

5. *Crews C., Hough P., Godward J., Brereton P., Lees M., Guiet S., Winkelmann W.* Quantitation of the main constituents of some authentic grape seed oils of different origin // *Journal Agricultural Food Chemistry.* – 2006. – Vol. 54. – P. 6261–6265.

6. *David Dolde, Chris Vlahakis, Jan Hazebroek.* Tocopherols in breeding line and effects of planting location, fatty acid composition, and temperature during development // *Journal of the American Oil Chemists' Society.* – 1999. – Vol. 76.

7. *Eberhart S.A., Rassel W.A.* Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sciences.* – 1966. – Vol. 6. – P. 132.

8. *Goffman, F.D., L. Velasco, and H.C. Becker.* Tocopherols accumulation in developing seeds and pods of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Lipid // Fett.* – 1999. – Vol. 101. – P. 400–403.

9. *Haiyan Zhang, Thava Vasanthan, Mahinda Wettasinghe.* Enrichment of tocopherols and phytosterols in canola oil during seed germination // *Journal Agricultural Food Chemistry.* – 2007. – Vol. 55. – P. 355–359.

10. *Maret G. Traber, Jeffrey Atkinson.* Vitamin E, antioxidant and nothing more // *Free Radical Biology & Medicine.* – 2007. – Vol. 43. – P. 4–15.

11. *Newton, R.P., and J.F. Pennock.* The intracellular distribution of tocopherols in plants // *Phytochemistry.* – 1971. – Vol. 10. – P. 2323–2328.

12. *Ronald B. Pegg, Ryszard Amarowicz.* Content of tocopherol isomers in oil seed radish cultivars – a short report // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.* – 2009. – Vol. 59. – No. 2. – P. 129–133.

13. *Stephanine B. Combs, Gerald F., Combs Jr.* Varietal differences in the vitamin E content of corn // *Journal Agricultural Food Chemistry.* – 1985. – Vol. 33. – P. 815–817.

14. *Umaiyal Munusamy, Siti Nor Akmar Abdullah, Maheran Abdul Aziz, Huzwah Khazaai, Lai Mun Seong.* Induced production of α -tocotrienol by cosuppression of tocopherol cyclase gene in vegetable crops // *American Journal of Biochemistry and Biotechnology.* – 2013. – Vol. 9. – No. 4. – P. 355–364.

15. *Volker Marwede, Antje Schierholt, Christian Mollers, Heiko C. Becker.* Genotype x environment interactions and heritability of tocopherol contents in canola // *Crop Science.* – 2004. – Vol. 44, May–June. – P. 728–731.