

不同大豆品种籽粒维生素 E 含量积累比较分析

罗 健,冯 雷,李冬梅,韩英鹏,赵 雪,李文滨,姜振峰

(东北农业大学 大豆生物学教育部重点实验室/农业部北方大豆生物学与遗传育种区域重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:采用高效液相色谱技术法(HPLC)以东北三省及内蒙古大豆产区的 180 份种质资源为研究材料,检测其籽粒总维生素 E 含量及各组分含量,进而分析维生素 E 总含量及各组分含量间的相关性,选用代表性大豆品种在不同生育时期维生素 E 积累动态进行分析。结果表明:大豆种质资源籽粒维生素 E 积累是从 R5 期开始,初期积累量呈上升趋势,R6 期积累量开始大幅度减少,但从 R6 至 R8 期积累量又呈现大幅度上升趋势,在 R8 期积累量趋于稳定。经筛选合丰 50 和 L-21 为高维生素 E 含量品种,黑秣食豆和茶秣食豆为低维生素 E 含量品种,代表性大豆品种籽粒维生素 E 含量差异主要体现在 R6 ~ R7 时期,该时期最终决定代表性大豆品种最终维生素 E 含量,这为研究高维生素 E 大豆新品种选育提供了理论基础,同时为高维生素 E 相关基因位点和候选基因的挖掘奠定了表型鉴定基础。

关键词:大豆;维生素 E;生育酚;高效液相色谱

中图分类号:S565. 1 文献标识码:A DOI:10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 02. 0250

Comparative Analysis of Vitamin E Content Accumulation in Different Soybean Varieties

LUO Jian, FENG Lei, LI Dong-mei, HAN Ying-peng, ZHAO Xue, LI Wen-bin, JIANG Zhen-feng

(Key Laboratory of Soybean Biology in Chinese Ministry of Education/Key Laboratory of Soybean Biology and Breeding (Genetics) of Chinese Agriculture Ministry, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In this study, high performance liquid chromatography(HPLC) was used to study the content of total vitamin E and the content of each component in 180 soybean germplasm resources which from the three provinces of Northeast China and Inner Mongolia. The content of total vitamin E and the content of each component were analyzed. The dynamic analysis of vitamin E accumulation in representative soybean cultivars at different growth stages was analyzed. The results showed that the accumulation of Vitamin E began to increase from the beginning of R5, the accumulation at R6 began to decrease, but the accumulation showed a significant upward trend from R6 to R8, The accumulation trends to be stable at R8. Hefeng 50 and L-21 were high content of vitamin E cultivars, and the content of vitamin E in the Heimoshidou and Chamoshidou were low content of vitamin E cultivars. The difference of vitamin E content in grains was mainly reflected in R6-R7 period, which ultimately determined the final vitamin E content, which provided a theoretical basis for the research of high vitamin E soybean variety breeding and also laid the basis of the high Vitamin E related gene site and candidate genes for phenotypic identification.

Keywords: Soybean; Vitamin E; Tocopherol; High performance liquid chromatography

大豆是我国重要的油料作物,天然维生素 E 主要存在于以大豆为代表的油料作物中^[1]。维生素 E,又名生育酚或抗不育维生素,是一种脂溶性物质^[2];其有许多同系物,包括 α - β - γ - δ - 生育酚(tocopherol)和 α - β - γ - δ - 生育三烯酚(tocotrienol)等^[3]。在常温下,其生理活性最高的是 α - 生育酚,其次是 β - 生育酚,生理活性最弱的是 δ - 生育酚;抗氧化性能最强的是 γ - 生育酚^[4-5]。维生素 E 是人体内不能合成的一类营养物质,必须从外界摄入补充^[6],其是人体内维持多种生理活动必不可少的营养元素,其作为抗氧化剂也具有抑制

不饱和脂肪酸的氧化、动脉硬化、降低胆固醇含量、增强血液循环和防治心血管疾病等作用;还广泛应用于食品添加剂,药品营养剂,化妆品等多个领域^[7]。大豆维生素 E 以 α - γ - δ - 生育酚为主^[8]。

大豆高维生素 E 含量是大豆品质育种的重要内容之一。张红梅等^[9-10]对大豆籽粒维生素 E 含量进行 QTL 分析,检测到 8 个加性和 12 对加性互作 QTL ;利用 Essex × ZDD2315 组合衍生的 208 个重组自交家系群体 BIE X 为材料,结果表明主基因和微效多基因均对维生素 E 含量有较大影响。李海

收稿日期:2016-12-09
基金项目:国家自然科学基金(31201227,31301339,31671717);国家"十二五"科技支撑计划(2011BAD35B06-1);国家现代农业产业技术体系(CAR-04-PS04);黑龙江省教育厅科学研究项目(12521008)。
第一作者简介:罗健(1989 -),男,硕士,主要从事分子辅助育种研究。E-mail:1527255676@qq. com。
通讯作者:姜振峰(1976 -),男,博士,副教授,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:jzhf@neau. edu. cn;
李文滨(1958 -),男,教授,博导,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:wenbinli@yahoo. com。

燕等^[11]分析 5 个维生素 E 相关基因表达模式,结果表明 MPBQ-MT 和 TC 基因对大豆维生素 E 代谢过程合成起关键作用。目前,测定维生素 E 的方法主要有比色法、光谱法、电化学和色谱法等^[12-14],其中最常用的为高效液相色谱技术^[15-16]。另外,提取维生素 E 采用超声波提(萃)取技术,其步骤简单易操作、提取过程停留在空气和光下时间短、能够更最大限度的降低维生素 E 萃取过程中的分解,更好地提高回收率和检测的精确度^[17-19]。

综上,前人对大豆维生素 E 的研究主要集中在重组群体的 QTL 分析,而对高维生素 E 种质资源的筛选以及籽粒维生素 E 积累的动态规律研究报道较少。本研究拟利用高效液相色谱法,对东北三省以及内蒙古大豆产区 180 份种质资源进行检测籽粒维生素 E 含量分析,并对其维生素 E 总含量以及各组分含量间相关性分析;同时筛选具代表性的高/低维生素 E 含量大豆种质,并对代表性种质维生素 E 在不同生育期积累动态进行分析,为进一步探索大豆维生素 E 积累规律和选育高维生素 E 大豆提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

来自东北三省及内蒙古大豆产区的 180 份种质资源(来源于黑龙江、吉林、辽宁、河北、内蒙古及国外)。

采用 Agilent 1290 Infinity II LC 型色谱仪和 ZORBAX SB-C18 检测柱(5 μm,4.6 × 250 mm),检测器为 1290 FLD Spectra 型荧光检测器,安捷伦公司。甲醇(Methanol)生产于迪马科技,浓度为 99.9%,乙醇(Ethanol anhydrous)生产于迪马科技,浓度为 99.9%,抗坏血酸生产于天津市瑞金特化学品有限公司,含量不少于 99.7%,γ-、δ-、α-生育酚标样生产于上海华蓝化学科技有限公司,纯度为 98%。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年在东北农业大学实验基地进行,180 份大豆种质资源种植于东北农业大学向阳实验基地,2 m 行长,3 次重复,行距 50 cm,垄宽 75 cm,其他管理同一般大田。从 180 份大豆种质资源中筛选出 2 份高维生素 E 材料和 2 份低维生素 E 材料。然后将筛选得到的高低维生素 E 代表材料盆栽于抗旱棚里,定期定量浇水、施肥,使其在同等生长条件下生长。

对以上材料在不同时期取样,测定其维生素 E 含量,进行资源筛选;分析代表性品种的籽粒维生素 E 积累动态。

1.2.2 取样方法 自始粒期(R5)开始,每 7 d 取幼荚直至完熟(R8),共取 10 次,第 1~2 次取样对应始粒期,第 3~6 为鼓粒期,第 7~8 次为黄熟期,第 9~10 次取样为完熟期。在主分枝顶端第二、三个节位取样;先将样品放入 105℃ 烘箱杀青 5 min,然后放入 50℃ 烘箱烘干至恒重,待测定籽粒维生素 E 组分的含量。

1.2.3 样品维生素 E 的提取和萃取方法 清选待测大豆籽粒,去除杂质,每个样品取 5~10 粒,样品用粉碎机粉碎并通过 0.25 mm 孔径样品筛。准确称取 0.1 g 大豆粉,加入 0.05 g 抗坏血酸,加入 3 mL 80% 乙醇溶液(乙醇:水=4:1),震荡混匀 15 s 后置于超声波清洗器中 15 min,加入 6 mL 正己烷,震荡混匀 20 s,再置于超声波清洗器中萃取 10 min,取出后在 13 000 r·min⁻¹ 下离心 15 min,上清液经 0.25 μm 滤膜过滤后,在设定色谱条件下测定含量^[23]。

1.2.4 HPLC 测定样品维生素 E 含量 利用高效液相色谱技术(HPLC),采用外标法对生育酚各异构体进行定量分析。荧光检测器发射波长 294 nm,检测波长 330 nm;流动相为甲醇,流速 1 mL·min⁻¹;柱温 35℃;进样量 20 μL;检测时间 10 min。以 α-、γ-、δ-生育酚峰面积代入回归方程进行定量分析。

1.3 数据分析

采用 SPSS 19.0 数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 维生素 E 的定量及定性分析

用外标法测定并计算供试样品中维生素 E 各组分含量。大豆维生素 E 主要由 δ-、γ-和 α-生育酚组成,γ-、δ-、α-生育酚各组分约占总含量的 99%,其中含量从高到低依次为 γ-、δ-、α-生育酚。

检测 180 份大豆供试样品和标准样品的色谱图清晰且呈现 3 个峰型,其中供试样品色谱图(如图 1)中第 1 个峰的保留时间是 6.612 min,第 2 个峰的保留时间是 7.463 min,第 3 个峰的保留时间是 8.538 min,经与标准样品峰型保留时间比较,供试样品和标准样品的峰型保留时间相吻合,即色谱图中 3 峰型依次分别为 δ-、γ-、α-生育酚。

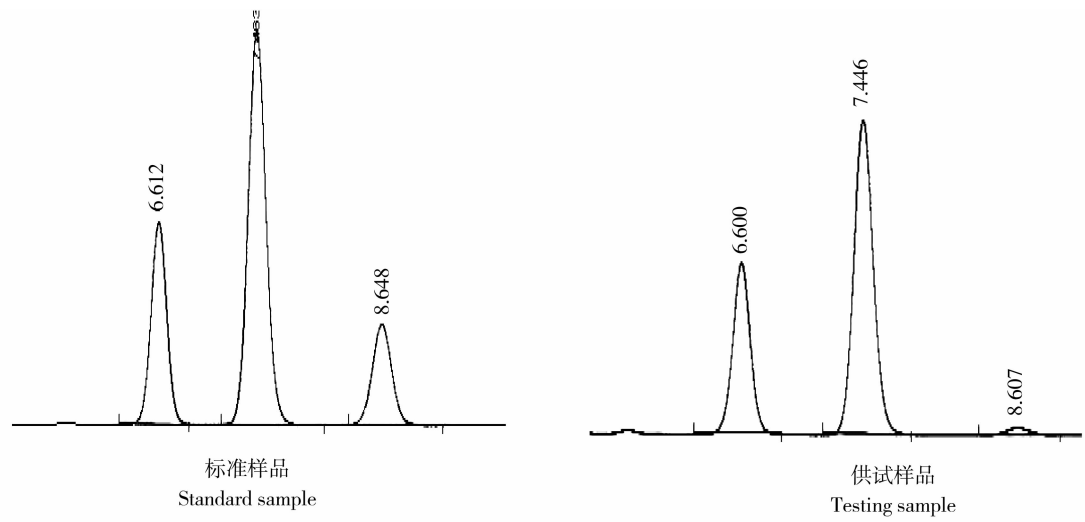


图 1 大豆维生素 E 高效液相色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of soybean vitamin E content

2.2 大豆种质资源籽粒维生素 E 含量分析

由图 2 可以看出 γ -、 δ -、 α -生育酚和总生育酚含量均呈正态分布,其结果符合多基因遗传的特点,供试样品 γ -生育酚含量主要分布在 118 ~ 193

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, δ -生育酚含量主要分布在 55 ~ 111 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, α -生育酚含量主要分布在 10 ~ 42 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 总生育酚含量主要分布在 210 ~ 300 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

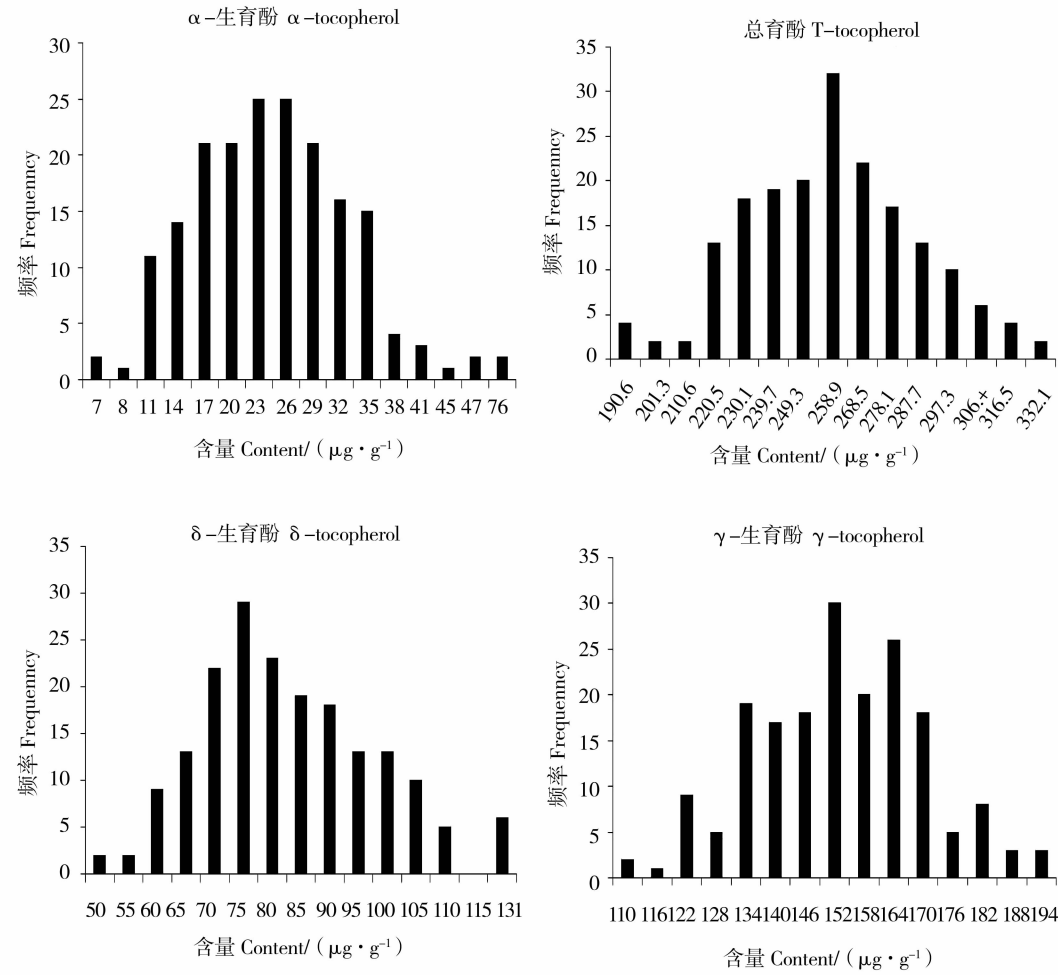


图 2 180 份大豆种植资源籽粒总维生素 E 及 α -、 γ -、 δ -生育酚含量分布

Fig. 2 Distribution of total Vitamin E and α - , γ - and δ - Tocopherol in 180 soybean germplasm

由表 2 得知,α-生育酚含量高的有合丰 50 (48.94 μg·g⁻¹)、华疆 2 号(45.99 μg·g⁻¹),含量低的有茶秣食豆(9.23 μg·g⁻¹)、小白脐(11.87 μg·g⁻¹)、黑秣食豆(15.55 μg·g⁻¹);γ-生育酚含量高的有北 1873(190.28 μg·g⁻¹)、垦丰 15(187.92 μg·g⁻¹)、绥农 28(187.84 μg·g⁻¹),含量低的有黑秣食豆(116.05 μg·g⁻¹)、小粒秣食豆(115.58 μg·g⁻¹)、茶秣食豆(105.94 μg·g⁻¹);δ-生育酚含量高的有北 1873(96.77 μg·g⁻¹)、L-21(96.32 μg·g⁻¹),含量低的有小粒秣食豆(42.03 μg·g⁻¹)、Boige du

(41.55 μg·g⁻¹);总生育酚含量高的有北 1873 (316.03 μg·g⁻¹)、合丰 50(313.03 μg·g⁻¹)、绥农 28(301.78 μg·g⁻¹),含量低的有茶秣食豆(183.62 μg·g⁻¹)、小粒秣食豆(169.33 μg·g⁻¹)。

综合总生育酚含量及 α-、γ-、δ-生育酚含量,筛选出总生育酚含量及 α-、γ-、δ-生育酚各组分含量高的品种合丰 50 和 L-21,筛选出总生育酚含量及 α-、γ-、δ-生育酚各组分含量低的品种黑秣食豆和茶秣食豆。

表 2 维生素 E 高、低值代表性大豆种质资源及其 α-、γ-、δ-生育酚含量
Table 2 Soybean cultivars with high and low vitamin E content and their contents of α-, γ- and δ-tocopherol(μg·g⁻¹)

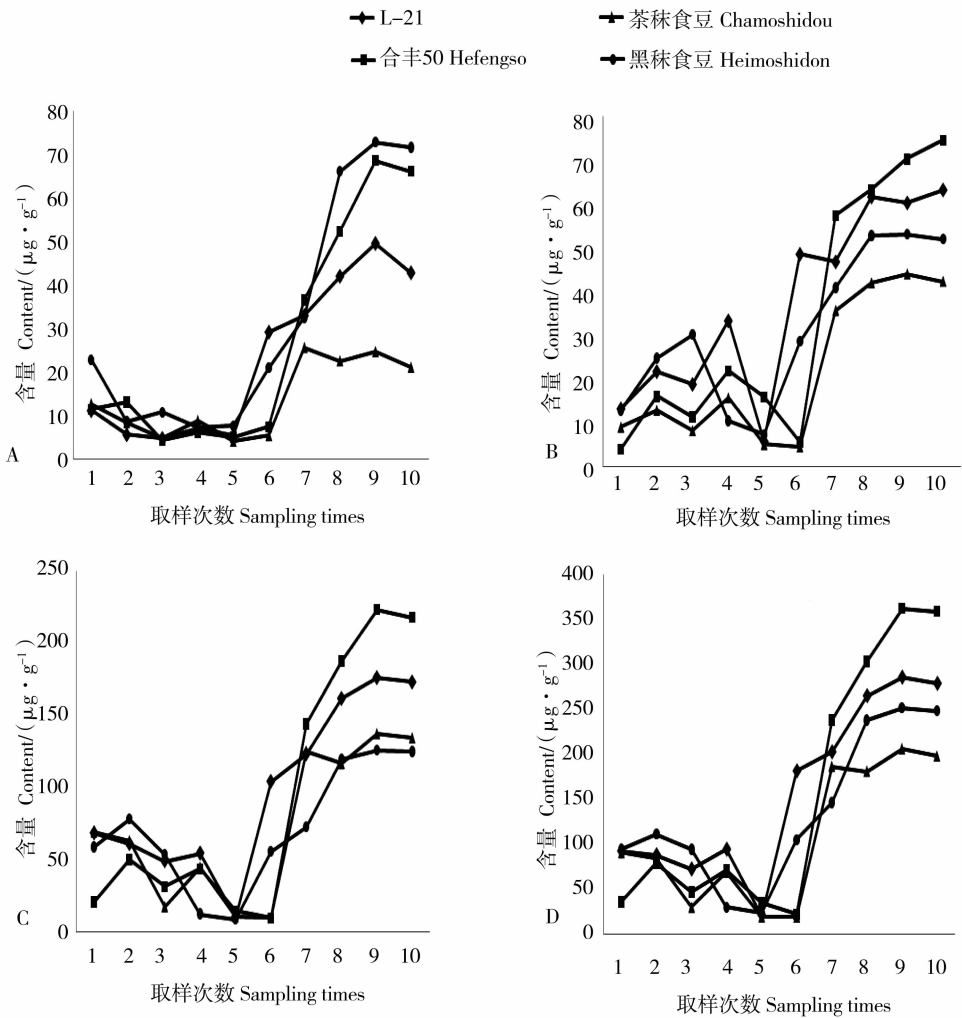
品种名称 Cultivar name	δ-生育酚 δ-tocopherol	γ-生育酚 γ-tocopherol	α-生育酚 α-tocopherol	总生育酚 T-tocopherol
合丰 50 Hefeng 50	82.45	181.63	48.94	313.03
L-21	96.32	174.66	24.57	295.55
北 1873 Bei 1873	96.77	190.28	28.98	316.03
绥农 28 Suinong 28	90.21	187.84	23.73	301.78
合丰 52 Hefeng 52	88.22	171.15	19.09	278.46
华疆 2 号 Huajiang 2	64.52	173.48	45.99	283.99
垦丰 15 Kenfeng15	85.46	187.92	28.39	301.77
黑秣食豆 Heimoshidou	58.91	116.05	15.55	190.51
茶秣食豆 Chamoshidou	65.29	105.94	9.23	183.62
小粒秣食豆 Xiaolimoshidou	42.03	115.58	11.75	169.33
大粒黑豆 Dalimoshidou	83.01	117.64	13.54	214.19
白城秣食豆 Baichengmoshidou	55.45	116.34	14.42	188.76
小白脐 Xiaobaiqi	68.40	119.53	11.87	199.81
Boige du	41.55	117.69	16.37	175.61

2.3 代表性大豆种质资源籽粒维生素 E 积累动态分析

从图 3 得知,大豆籽粒维生素 E 总含量及 α-、γ-和 δ-生育酚含量在始粒期(R5 期)先合成,积累量逐渐升高,在鼓粒期(R6 期)积累量逐渐下降,合成量基本供自身利用,在黄熟期(R7 期)积累量大幅度升高,在完熟期(R8 期)积累量基本稳定。其中鼓粒期维生素 E 积累量最少,R7 期之后 α-生育酚含量变化大幅度升高至 R8 期基本稳定。不同组分间,积累量增减幅度各有差异,总生育酚变化幅度最大,其次是 γ-生育酚,α-生育酚变化幅度最小。合丰 50α-生育酚含量升高幅度最大,其次是 L-21,增幅最小的是茶秣食豆;δ-生育酚和维生素 E 总含量变化趋势和 α-生育酚含量变化基本一致;γ-生育酚含量变化趋势有差异,合丰 50γ-生育酚含量升高幅度最大,其次是 L-21,增幅最小的

是茶秣食豆;不同品种间,4 份供试大豆种质资源的籽粒维生素 E 总含量及 α-生育酚、γ-生育酚和 δ-生育酚含量,从始粒期至完熟期间先开始合成维生素 E,其积累量变化先是升高再降低、最后再升高的过程,但是总生育酚及 α-生育酚、γ-生育酚和 δ-生育酚含量间的变化不尽相同。其中,在鼓粒期籽粒中总生育酚及 α-生育酚、γ-生育酚和 δ-生育酚含量最低,从黄熟期之后,维生素 E 总含量及 α-生育酚、γ-生育酚和 δ-生育酚含量急聚升高,且 γ-生育酚含量升高幅度最大,δ-生育酚含量次之,α-生育酚含量升高最慢。

结果表明,在不同的组分间或在不同品种间维生素 E 动态积累变化趋势基本一致,在 R5 期先合成,积累量逐渐升高,在 R6 期积累量逐渐下降,直到基本没有积累量,在黄熟期 R7 积累量大幅度升高,在 R8 期积累量基本稳定。



A: α -生育酚; B: β -生育酚; C: γ -生育酚; D: 总生育酚。

A: α -tocopherol; B: β -tocopherol; C: γ -tocopherol; D: Total tocopherol.

图3 代表大豆品种间维生素E及各组分积累动态比较

Fig. 3 Dynamic distribution of vitamin E and accumulation of represent the soybean varieties

3 结论与讨论

提高大豆品质是我国大豆育种目前的重要目标和趋势,提高大豆维生素E是改善大豆品质的指标之一。研究大豆维生素E动态积累变化及分子标记对育成高维生素E品种具有重要的理论基础。刘焕成等^[20-21]研究了大豆维生素E与主要农艺性状和品质性状的相关性分析和对东北大豆与北美大豆维生素E含量进行了比较分析;李海燕等^[22]利用合丰25和Bayfield杂交后的144个重组自交系群体构建了大豆维生素E遗传图谱;徐杰等^[23]对不同品质粒型大豆品种脂肪酸形成规律进行了研究。

本研究利用高效液相色谱技术筛选得到的高维生素E大豆种质L-21、合丰50和北1873等,其籽粒 α -、 γ -、 δ -生育酚和总生育酚含量均高于前人研究报道^[14,21];黑秣食豆、茶秣食豆、大粒黑豆等 α -生育酚、 γ -生育酚、 δ -生育酚和总生育酚含量

都较低,与刘焕成等^[21]研究结果基本一致。在供试大豆品种籽粒维生素E积累动态研究中发现不同品种间及同一组分积累动态变化有差异;不同组分在同一品种积累动态变化也有不同之处;但是从R5~R8期积累动态变化趋势基本一致,R5期维生素E大量合成,从R5期到R6期维生素E及各组分积累从低至高再降低;从R6期开始维生素E及各组分开始大幅度升高。

本研究结果表明,R6期维生素E及各组分积累量最少,R8期其含量基本稳定,因此高低维生素E大豆种质籽粒中最终维生素E含量主要由R6~R7期决定,本研究结果为研究高维生素E大豆新品种选育提供了理论基础,同时为高维生素E相关基因位点和候选基因的挖掘奠定了表型鉴定基础。

参考文献

[1] 宋晓燕,杨天奎.天然维生素E的功能及应用[J].中国油脂,

- 2000,25(6):45-47. (Song X Y, Yang T K. Function and application of natural vitamin E[J]. China Oil,2000, 25(6):45-47.)
- [2] 李源龙,章灵敏,周龙华,等. 油料作物种子维生素 E 含量和组分改良的分子育种研究[J]. 农业生物技术学报,2013,21(8):974-983. (Li Y L, Zhang L M, Zhou L H, et al. Progresses in molecular breeding towards the improvement of vitamin E content and composition in oilseeds [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 21(8): 974-983.)
- [3] 朱俊晨,王忠合,林汉卿. 大豆中生物活性物质功能及开发研究进展[J]. 深圳职业技术学院学报,2005,4(2):37-42. (Zhu J C, Wang Z H, Lin H Q. Functional factors of soybean and their development [J]. Journal of Shenzhen Polytechnic, 2005,4(2): 37-42.)
- [4] 修好,赵善仓,王宪泽. 不同粒色小麦籽粒维生素 E 含量及其与籽粒色素的相关性分析[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):608-612. (Xiu Y, Zhao S C, Wang X Z. Determination of vitamin E contents and its correlation with pigment contents in wheat varieties with different seed color [J]. Journal of Triticeae Crop,2009, 29(4): 608-612.)
- [5] 李青. 玉米籽粒生育酚含量和产量相关基因的发掘及功能分析[D]. 北京:中国农业大学,2010. (Li Q. Discovery and analysis of tocopherols content and production genes in maize seed [M]. Beijing: China Agricultural University, 2010.)
- [6] Traber M G, Sies H. Vitamin E in humans: Demand and delivery [J]. Annual Review of Nutrition, 1996,16: 321-347.
- [7] 王丽,宋志峰,纪锋,等. 高效液相色谱法测定大豆中的维生素 E 含量及其与粗脂肪含量的线性回归分析[J]. 大豆科学,2006,25(2):113-117. (Wang L, Song Z F, Ji F, et al. The determination of vitamin E using HPLC and the linear regression of the contents of vitamin E and oil soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25(2):113-117.)
- [8] 李源龙,章灵敏,周龙华,等. 油料作物种子维生素 E 含量和组分改良的分子育种研究[J]. 农业生物技术学报,2013,21(8):974-983. (Li Y L, Zhang L M, Zhou L H, et al. Progresses in molecular breeding towards the improvement of vitamin E content and composition in oilseeds [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 21(8): 974-983.)
- [9] 张红梅,李海朝,文自翔,等. 大豆籽粒维生素 E 含量的 QTL 分析[J]. 作物学报,2015,41(2):187-196. (Zhang H M, Li H C, Wen Z X, et al. Identification of QTL associated with vitamin E content in soybean seeds [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(2):187-196.)
- [10] 张红梅,文自翔,李海朝,等. 大豆 BLEX 群体维生素 E 含量的遗传分析[J]. 华北农学报,2015,30(S):97-102. (Zhang H M, Wen Z X, Li H C, et al. Inheritance of vitamin E contents in soybean RIL population BLEX [J]. Acta Agriculture Boreali- Sinica, 2015,30(S):97-102.)
- [11] 李海燕,隋美楠,聂腾坤,等. 大豆维生素 E 五个相关基因表达模式分析[J]. 东北农业大学学报,2016,47(5):15-22. (Li H Y, Sui M N, Nie T K, et al. Expression analysis of five relative genes of soybean vitamin E [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2016, 47(5):15-22.)
- [12] 李桂华,代红丽,傅黎敏,等. 高压液相色谱法测定我国大豆种子维生素 E 含量[J]. 中国粮油学报,2006,21(3):1-4. (Li G H, Dai H L, Fu L M, et al. The determination of vitamin E content of soybean seeds in China with HPLC [J]. Journal of the Chinese Cereals and Association,2006, 21(3):1-4.)
- [13] 李国营,范志影,刘方,等. 高效液相色谱法测定谷子种质资源中维生素 E 的研究[J]. 中国农业科技导报,2009,11(1):129-133. (Li G Y, Fan Z Y, Liu F, et al. Studies on vitamin E in foxtail millet determined by HPLC method [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11(1): 129-133.)
- [14] 李海燕,韩英鹏,刘焕成,等. 高效液相色谱法测定黑龙江省南部地区大豆维生素 E 含量的研究[J]. 作物杂志,2013(6):1001-7283. (Li H Y, Han Y P, Liu H C, et al. Study the assay of vitamin E content in the South of Heilongjiang province with HPLC [J]. Crops, 2013(6):1001-7283.)
- [15] 寇立娟,李兰晓,王明林,等. 高效液相色谱-荧光检测法快速测定植物油中的 α -生育酚[J]. 中国油脂,2007,32(4):76-78. (Kou L J, Li L X, Wang M L, et al. Rapid determination of α -tocopherols in vegetable oils by HPLC [J]. China Oils and Fats, 2007,32(4):76-78.)
- [16] 李英丽,邓连琴,果秀敏,等. 同步荧光法测定蔬菜中维生素 E 含量[J]. 河北大学学报(自然科学版),2009,29(4):412-415. (Li Y L, Deng L Q, Guo X M, et al. Determination of vitamin E in vegetable by synchronous fluorescence spectrometry [J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2009, 29(4):412-415.)
- [17] Sattler S E, Gilliland L U, Magallanes Lundback M, et al. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipidperoxidation during germination [J]. Plant Cell, 2004, 16: 1419-1432.
- [18] Rimbach G, Moehring J, Huebbe P. Gene-regulatory activity of alpha-tocopherol [J]. Molecules,2010,15:1746-1761.
- [19] Abbasi A, Hajirezaei M, Hofius D, et al. Specific roles of α - and γ -tocopherol in abiotic stress responses of transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) [J]. Plant Physiology, 2007, 143: 1720-1738.
- [20] 刘焕成,韩英鹏,滕卫丽,等. 东北大豆与北美大豆维生素 E 含量的分析[J]. 大豆科学,2008,27(6):925-928. (Liu H C, Han Y P, Teng W L, et al. Analysis of vitamin E content in soybeans derived from Northeast China and North America [J]. Soybean Science, 2008, 27(6):925-928.)
- [21] 刘焕成,李文滨,韩英鹏,等. 大豆维生素 E 与主要农艺性状和品质性状的相关性分析[J]. 大豆科学,2011,30(1):89-91. (Liu H C, Li W B, Han Y P, et al. Correlation analysis among vitamin content, agronomic traits and quality characteristics of soybean [J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 89-91.)
- [22] 李海燕,韩英鹏,武小霞,等. 大豆维生素 E 遗传图谱构建及 QTL 分析[J]. 大豆科学,2014,33(4):492-496. (Li H Y, Han Y P, Wu X X, et al. QTL analysis of soybean vitamin E and genetic map construction [J]. Soybean Science, 2014,33(4):492-496.)
- [23] 徐杰. 不同品质粒型大豆品种脂肪酸形成规律的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2005. (Xu J. Study on accumulation law of fatty acid of soybean with different quality character [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2005.)