



闫晓娟,谷勇哲,胡国龙,等.大豆种子蛋白亚基及 11S/7S 随种子发育的变化规律[J].黑龙江农业科学,2024(4):11-17.

大豆种子蛋白亚基及 11S/7S 随种子发育的变化规律

闫晓娟¹,谷勇哲²,胡国龙²,张素青³,李欣³,邴植¹,张福顺^{1,4}

(1. 黑龙江大学 现代农业与生态环境学院,黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 中国农业科学院 作物科学研究所,北京 100081; 3. 内蒙古自治区农牧业技术推广中心,内蒙古 呼和浩特 010010; 4. 农业农村部甜菜品质监督检验测试中心,黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:为促进大豆蛋白品质改良,采用 SDS-PAGE 凝胶电泳对 4 份不同大豆品种种子发育过程中的蛋白亚基变化规律进行了分析。结果表明,在种子发育过程中发现蛋白含量高的品种中吉 601(44.82%) 在 S4 时期 β 亚基积累明显高于其他蛋白含量低的品种;不同大豆品种的 11S 组分的亚基在各个时期的积累明显不同,11S/7S 比值低的两个品种中吉 601(1.059) 和吉林小粒豆(1.022),其 11S 组分中的 Basic 亚基在 S3—S9 时期的含量低于其他亚基的含量,而 11S/7S 比值高的两个品种黑河 23(1.324) 和绥农 28(1.401),其 11S 组分中的 Basic 亚基和 Acidic 亚基在 S3—S9 时期含量高于其他亚基的含量,推测不同品种的 11S/7S 比值高低与 Basic 亚基在种子发育过程中的积累相关。

关键词:大豆;蛋白;11S/7S;蛋白亚基;SDS-PAGE

大豆起源于我国,已有 5 000 年以上的栽培历史,且大豆蛋白的氨基酸构成较为合理,是我国重要的食用油和植物蛋白来源^[1-2]。目前,国产大豆主要是食用,进口大豆主要用于榨油和饲料,亟需通过提高产量与品质以增强国产大豆的市场竞争力^[3]。如今,我国食品加工业对大豆蛋白的营养性要求越来越高,大豆贮藏蛋白引起生产者和研究者越来越多的关注。

根据蛋白离心沉降系数一般将贮藏蛋白分为 2S、7S、11S 和 15S 等不同类型的球蛋白,其中 7S 和 11S 约占大豆球蛋白总量的 70% 左右,是大豆种子贮藏蛋白的主要成分^[4]。7S 组分由 α 亚基、 β 亚基、 α' 亚基组成,11S 亚基由 A3 亚基、Acidic 亚基、Basic 亚基组成。由于氨基酸组成和结构不同,大豆贮藏蛋白 11S 和 7S 球蛋白的相对含量不仅影响蛋白的营养特性也会影响其加工特性^[5-7]。7S 球蛋白中赖氨酸含量较高,而 11S 球蛋白中蛋氨酸等含硫氨基酸含量较高,是 7S 球蛋白中的 5~6 倍^[8-11]。相对于 7S 球蛋白,11S 球蛋白中含有丰富的巯基和二硫键,而疏水性氨基酸较少,导致 11S 球蛋白含量高的蛋白所形成凝胶的拉伸强

度、剪切力和保水性较好^[12-14]。因此,11S/7S 的比值不仅与大豆的营养价值有很大关系而且决定了大豆的加工品质。

鉴于 11S 和 7S 球蛋白在营养价值和加工品质等方面的重要价值,前人对蛋白亚基进行了鉴定和相关优异种质筛选。赵现伟等^[15] 筛选鉴定出 3 个 11S/7S 比值大于 4.0 和 4 个 7S 亚基含量较低的优异大豆种质资源。张明俊等^[16] 从 298 份 EMS 诱变株系和 610 份大豆品种中,筛选出亚基明显变异材料 6 份,11S/7S 值大于 3.0 的材料 10 份。目前研究多针对成熟种子以及大豆胚轴中亚基积累的研究,Sugimoto 等^[17] 发现,大豆下胚轴富含 7S,而 11S 蛋白含量较低。Ladin 等^[18] 发现 7S 组分中的 β 亚基是在大豆胚轴中合成的,但会迅速降解。

为了揭示蛋白亚基积累规律,本研究以 4 个东北地区大豆品种为材料,采用 SDS-PAGE 电泳检测方法,分析了种子发育过程中各亚基含量的动态变化规律,比较了不同大豆品种间 7S 组分与 11S 组分的亚基在不同发育时间的积累异同,为大豆蛋白品质改良提供了重要理论参考。

收稿日期:2024-01-11

基金项目:国家重点研发计划-中国和乌拉圭联合实验室合作项目(2018YFE0116900);国家重点研发计划战略性科技创新合作专项(2022YFE0203300)。

第一作者:闫晓娟(1997—),女,硕士研究生,从事大豆遗传育种研究。E-mail:320804483@qq.com。

通信作者:张福顺(1965—),男,硕士,副研究员,从事农产品质量安全监督与营养评价研究。E-mail:bill6141@163.com。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试大豆 本研究选用中吉 601、黑河 23、吉林小粒豆、绥农 28 为试验材料,种子由中国农业科学院作物科学研究所提供。

1.1.2 主要仪器 本研究所用仪器主要包括高速冷冻离心机(Eppendorf)、高压电泳仪(北京君意东方电泳设备有限公司)、电子天平(上海越平科学仪器有限公司)、转移脱色摇床(海门市其林贝尔仪器制造有限公司)、层析柜(北京德天佑科技发展有限公司)、电热恒温水槽(上海森信实验仪器有限公司)和凝胶透射灯(北京君意东方电泳设备有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 2018 年在中国农业科学院作物科学研究所温室外进行盆栽,采用上口直径 32 cm,下口直径 21 cm,高 28 cm,便于排水透气的圆型塑料盆钵。每个品种每盆播种 8 粒种子,3 次重复,盆钵按重复随机排列,后期出苗间苗每

盆留 4 株,挂牌,正常管理水、肥,成熟后每盆单独收获,种子保存于风干室。

1.2.2 S3—S9 时期种子的大豆球蛋白制备及 SDS-PAGE 电泳 不同取样时期的大豆籽粒状态如图 1 所示,大豆种子在 S1—S6 时期淀粉、蛋白质、脂肪等贮藏物质逐渐积累,种子体积不断增大;在 S7—S9 时期种子的含水量逐渐降低,种子体积开始不断缩小;S1—S9 时期种子颜色由绿色转为黄色。4 个品种的大豆试验材料按表 1 标准取样,每个时期取 3 次重复。采用王显生等^[19]的方法提取种子的大豆球蛋白,将 S3—S9 时期种子用液氮研磨(防止水化和降解),分别称取 5 mg 的豆粉并及时加入 500 μ L 蛋白提取液。采用 Laemmli^[20]的方法,抽取 5 μ L 蛋白提取液进行 SDS-PAGE 电泳(浓缩胶浓度为 5%,分离胶浓度为 12%),通过高清相机采集胶片图像。用 Quantity one 软件对胶片进行分析,获取各亚基条带含量,计算 11S/7S 等数据。

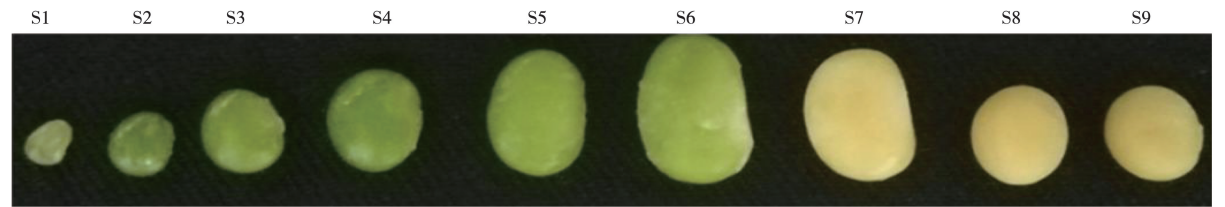


图 1 不同发育时期大豆种子状态(黑河 23)

表 1 不同时期大豆籽粒取样标准

时期	样品质量标准/mg	样品颜色
S1	<10	绿
S2	27~42	绿
S3	70~95	绿
S4	115~150	绿
S5	200~250	绿
S6	>300	绿
S7	>300	黄
S8	200~250	黄
S9	<150	黄

1.2.3 成熟种子的大豆球蛋白制备及 SDS-PAGE 凝胶电泳 将盆栽收获的成熟大豆种子各取 5 粒,每个品种取 3 次重复。采用陈振家等^[21]的方法制备脱脂豆粉,去除种皮后研磨取足量豆粉,加乙醚脱脂过夜制备脱脂豆粉。称取 5 mg 脱脂豆粉于 2 mL 离心管中,加 500 μ L(蛋白提取液 50 mL+1 mL β 巯基乙醇混合液),混匀,静置于 4 $^{\circ}$ C,

12 000 $r\cdot min^{-1}$ 离心 10 min。抽取 5 μ L 蛋白提取液采用高压电泳仪进行 SDS-PAGE 电泳,获得大豆贮藏蛋白的各亚基条带。用 Quantity one 软件测定各亚基含量,并进行 11S/7S 等数据分析。

1.2.4 成熟种子蛋白、脂肪含量测定 用 MPA 近红外光谱分析仪测定大豆籽粒的蛋白、脂肪含量。每次测量,均先测定中品 661 的蛋白含量,以此确定仪器状况是否良好。每份材料,测 3 次重复,取平均值。

1.2.5 数据分析 利用 R(v. 3.2.3)软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 成熟种子品质分析

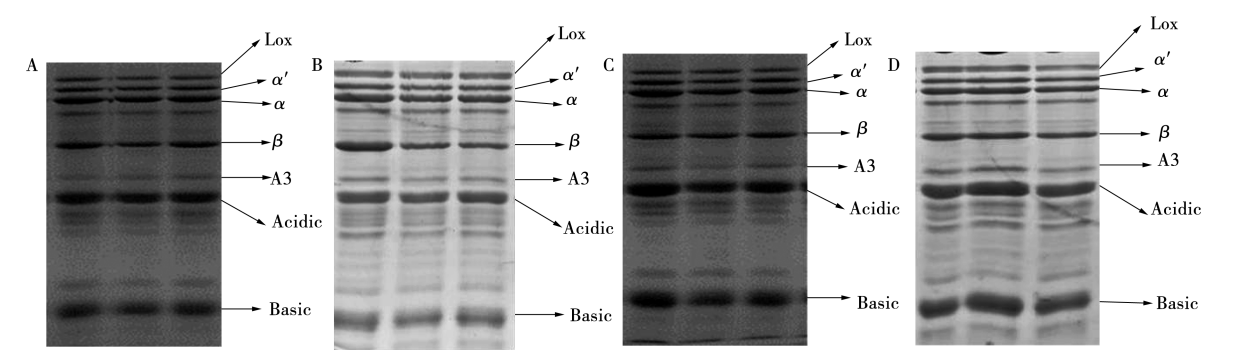
2.1.1 蛋白质和脂肪含量 由表 2 可知,中吉 601 蛋白含量最高,为 44.82%,脂肪含量最低,为 18.99%。黑河 23 的蛋白含量最低,为 36.98%,同时脂肪含量最高,为 21.61%。

表 2 不同大豆品种的成熟种子品质分析

品种	产地	系谱	蛋白质含量/%	脂肪含量/%
中吉 601	吉林	吉林小粒豆突变体	44.82	18.99
黑河 23	黑龙江	黑 22×Merit	36.98	21.61
吉林小粒豆	吉林	吉林小粒豆	41.36	19.19
绥农 28	黑龙江	绥农 14 变异株	39.32	21.43

2.1.2 贮藏蛋白亚基含量 由图 2 可知,4 个品种大豆的贮藏蛋白各亚基条带清晰且组份一致。由表 3 可知,通过 Quantity one 软件扫描每个 SDS-PAGE 泳道,对 4 个品种的成熟种子亚基

含量进行分析,计算 11S/7S 比值。结果显示中吉 601 的比值为 1.059,吉林小粒豆的比值为 1.022,黑河 23 和绥农 28 的 11S/7S 比值较高,分别为 1.324 和 1.401。



A. 中吉 601; B. 黑河 23; C. 吉林小粒豆; D. 绥农 28。
图 2 不同大豆品种种子 SDS-PAGE 电泳结果

表 3 不同品种大豆种子球蛋白 11S/7S 比值以及各亚基含量

品种	Lox 亚基含量	α' 亚基含量	α 亚基含量	β 亚基含量	A3 亚基含量	Acidic 亚基含量	Basic 亚基含量	11S/7S
中吉 601	37.384	50.022	168.136	181.507	141.936	134.655	146.618	1.059
黑河 23	86.730	88.342	94.077	174.360	151.799	170.378	150.119	1.324
吉林小粒豆	45.569	104.121	133.603	127.069	117.265	134.142	121.400	1.022
绥农 28	74.902	108.476	115.164	133.103	54.285	208.094	237.288	1.401

2.2 不同亚基随种子发育积累变化规律

由图 3 可知,从整体来看,各亚基在种子发育过程中均呈逐渐积累趋势,但是品种间又存在明显差异。中吉 601、黑河 23、绥农 28 的 Lox 亚基含量在 S3—S9 时期的积累呈现上升趋势,而吉林小粒豆的 Lox 含量在 S3—S9 时期的变化并不明显,其中在种子发育后期(S7—S9)黑河 23 的 Lox 含量上升趋势最为明显(图 3A)。

中吉 601、黑河 23 和绥农 28,三个品种的 α' 亚基在 S3—S9 时期的积累整体呈现上升趋势。吉林小粒豆始终高于这 3 个品种,在 S4 期最高,为 340.714(图 3B)。

绥农 28 的 α 亚基含量在 S7 时期出现峰值,且除了在 S6 期与其他 3 个品种 α 亚基含量差异不明显外,其他时期均较其他 3 个品种高(图 3C)。

生育前期(S3—S5),中吉 601 的 β 亚基含量在 S4 时期出现峰值,而其他 3 个品种的 β 亚基含

量在 S4 时期降低,后期(S6—S9),黑河 23 的 β 亚基相较于其他品种大量积累,且中吉 601 的 β 亚基含量始终最低(图 3D)。

中吉 601、黑河 23、吉林小粒豆的 A3 亚基在 S3 时期已有积累,而绥农 28 的 A3 亚基在 S3—S4 时期才开始积累,虽然绥农 28 的 A3 亚基开始积累的时间较晚,但是相较于其他 3 个品种在 S5—S9 时期的积累水平较高。黑河 23 的 A3 亚基含量除了 S3 期外的各时期均最低(图 3E)。

绥农 28 的 Acidic 亚基含量在 S5 期出现第 1 个峰值,在 S6—S9 时期 Acidic 亚基含量都保持在一个较高水平且仍有上升趋势(图 3F)。

黑河 23 的 Basic 亚基含量在 S3—S5 时期上升明显,且在 S3—S9 时期黑河 23 和绥农 28 的 Basic 亚基含量明显高于中吉 601 和吉林小粒豆。绥农 28 在各时期 Basic 亚基含量呈平稳上升趋势(图 3G)。

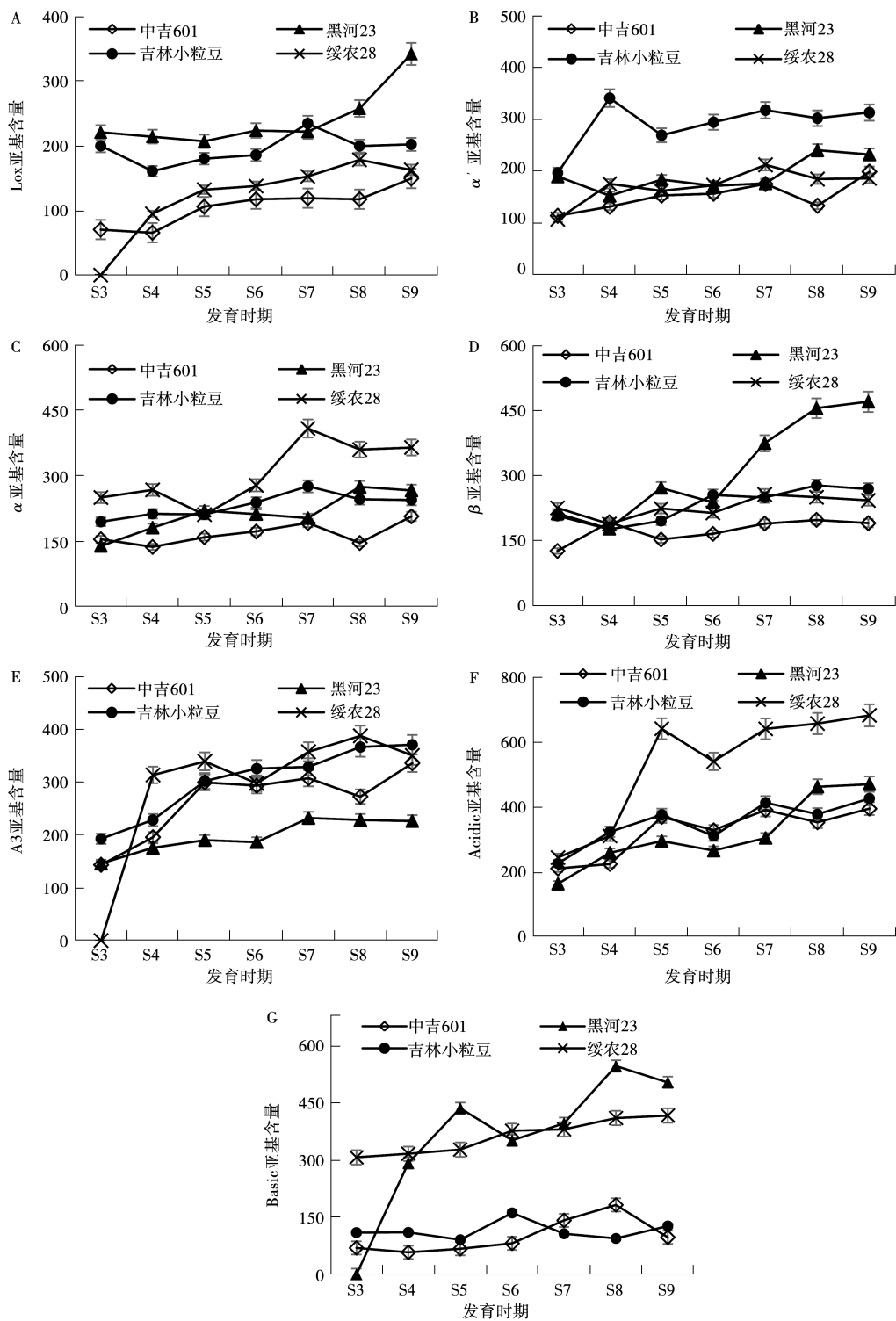


图 3 不同品种大豆在不同发育时期种子各亚基含量变化

2.3 11S、7S 以及 11S/7S 的比值随大豆种子发育积累变化

2.3.1 11S、7S 组分亚基随种子发育积累变化
由图 4A 可知,中吉 601 的 7S 亚基(α 亚基、 β 亚基、 α' 亚基)在种子发育 S3—S9 时期逐步积累;而

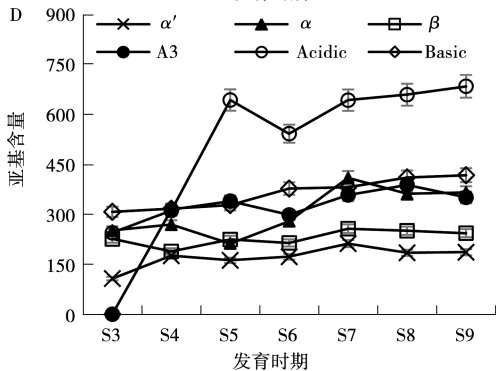
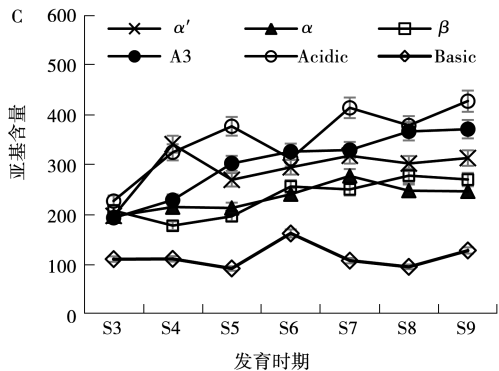
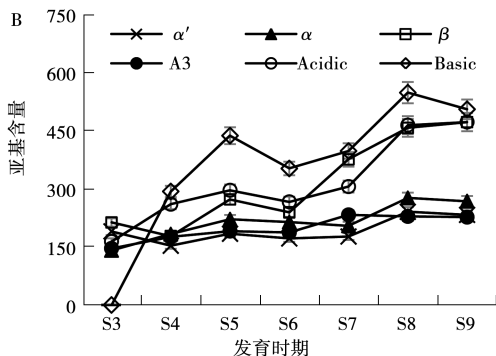
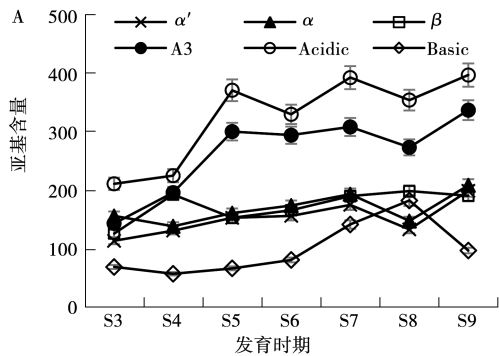
11S 组分的亚基(Acidic 亚基、A3 亚基和 Basic 亚基)在 S3—S9 时期相比于 7S 组分的亚基,上升趋势更为明显,但是 Basic 亚基的积累在种子发育 S3—S9 时期过程中相较于 11S 组分的其他亚基是最低的。

由图 4B 可知,黑河 23 的 7S 组分的 α 亚基、 α' 亚基的含量在 S3—S9 时期呈缓慢上升趋势,但 β 亚基的积累在种子发育 S3—S9 时期上升幅度比 α 亚基、 α' 亚基更大,并在 S8—S9 时期达到最大值。11S 组分的 Acidic 亚基、Basic 亚基整体上升趋势与 A3 亚基相比均较为明显,在 S8 时期达到最大值,A3 亚基在种子发育 S3—S9 时期呈现缓慢上升趋势,是 11S 组分中含量最低的亚基。11S 组分的 Basic 亚基在 S3 时期还未开始积累,而 7S 组分的亚基在 S3 时期已有积累。

由图 4C 可知,吉林小粒豆在种子发育 S3—S9

时期的亚基中除 Basic 亚基含量最低,且积累不明显外,7S 组分(α 亚基、 β 亚基、 α' 亚基),以及 11S 组分的 Acidic 亚基和 A3 亚基的积累均有明显上升的趋势。

由图 4D 可知,绥农 28 的 7S 组分的 α 亚基、 β 亚基、 α' 亚基,以及 11S 组分的 A3 亚基和 Basic 亚基在种子发育 S3—S9 时期积累趋势缓慢,A3 亚基在 S3 时期还未开始积累,而 7S 组分的亚基在 S3 时期已有积累,Acidic 亚基在 S4—S9 时期的积累趋势与其他亚基相比上升更为明显,在 S9 时期出现峰值。



A. 中吉 601; B. 黑河 23; C. 吉林小粒豆; D. 绥农 28。

图 4 不同品种大豆在不同发育时期种子 7S、11S 的亚基含量变化

4 个品种 7S 组分的亚基在不同时期的变化趋势相同。但是,11S 组分亚基在各个时期明显不同,中吉 601、吉林小粒豆的 Basic 亚基在 S3—S9 时期含量相对其他亚基较低,而黑河 23、绥农 28 中 11S 组分的 Basic 亚基和 Acidic 亚基在 S3—S9 时期含量相对其他亚基较高。

2.3.2 11S/7S 比值随种子发育积累变化 由图 5 可知,各个品种在 S3—S9 时期的 11S/7S 曲线变化不同。中吉 601、绥农 28 的变化呈现升降-升降的趋势,中吉 601 的 11S/7S 比值在 S8 时期达到最大值,为 1.71,绥农 28 的 11S/7S 比值在 S5 时期达到最大值,为 2.19。黑河 23 的变化呈现升降-升降的趋势,11S/7S 比值在 S4 时期达到最大值,为 1.43。吉林小粒豆的变化呈现升降-升的趋势,11S/7S 比值在 S5 时期达到最大值,为 1.16。

蛋白含量较高的中吉 601 和吉林小粒豆在 S9 时期(即成熟种子中)11S/7S 比值偏低。

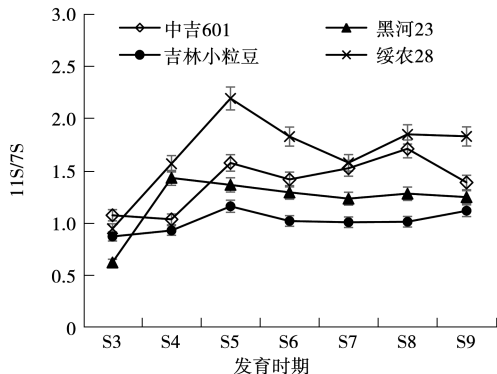


图 5 不同大豆品种在不同发育时期种子的 11S/7S 比值

3 讨论

张恒善等^[22]研究表明多数大豆品种的蛋白相对含量呈“前急、后缓”的下降曲线,少数品种下降后又稍有回升;同熟期品种,发育初期蛋白质含量较高的品种种子成熟时也比较高。林忠平等^[23]利用免疫荧光标记法研究大豆发现 7S 蛋白在子叶的沉积始于开花后 15 d,11S 蛋白的积累是开花后 20~30 d。郑易之等^[24]也得出同样的结论,7S 球蛋白积累时间略早于 11S 球蛋白。本研究通过 SDS-PAGE 电泳试验分析大豆种子不同发育时期的 7S 组分与 11S 组分的亚基发现,黑河 23 与绥农 28 中 11S 组分的 Basic 亚基、A3 亚基相较于 7S 组分的其他亚基合成较晚,说明 11S 球蛋白的积累略晚于 7S 球蛋白的积累时间,与前人的研究结果相同。Meinke 等^[25]通过 SDS-PAGE 电泳发现,11S 球蛋白 Acidic 亚基、Basic 亚基以及 7S 球蛋白的 α 亚基在授粉后 18~20 d,即子叶细胞分裂终止后不久开始积累,而 7S 球蛋白的 β 亚基和 11S 组分的 A3 亚基则在发育成熟期 7~14 d 后才开始积累。但是本研究通过 SDS-PAGE 电泳试验发现,黑河 23 与绥农 28 中 11S 组分的 Basic 亚基、A3 亚基相较于 7S 组分的其他亚基合成较晚,不同品种 11S 组分的 Acidic 亚基以及 7S 组分的 α 亚基,合成时间没有明显的差别,可能是取样方式造成的差异。许守民等^[26]用两个蛋白含量不同的品种观察 7S 与 11S 的差异发现,在子叶发育过程中,蛋白含量高的品种“公交 8059-3”与蛋白含量低的品种“GD-1515”相比,蛋白质及 7S 和 11S 亚基积累的时期较早,尤其 7S 的 β 亚基。而本研究发现蛋白含量高的品种中吉 601 与其他 3 个蛋白含量低的品种相比,7S 组分的 β 亚基在 S3—S5 时期明显高于 3 个蛋白含量低的品种,蛋白含量的高低是否与 β 亚基在前期的积累有关,还有待研究。本研究结果与前人有所不同,以未区分大豆子叶和胚轴对不同发育时期的大豆籽粒进行研究,并以大豆籽粒发育过程的籽粒重为标准分别取 9 个时期(S1—S9)籽粒进行研究。本研究中蛋白含量较高的中吉 601 和吉林小粒豆 S9 时期 11S/7S 比值偏低,其可能原因是 7S 球蛋白的积累提升了蛋白含量同时降低了 11S/7S 比值。前人研究表明 11S 球蛋白含量与 7S 球蛋白含量呈负相关,调节 11S/7S 的比值,可提高大豆的营养品质与加工品质^[27-28]。因此需要通过扩大资源鉴定规模挖掘高蛋白且 11S/7S 比值高的优异种质,同时挖掘与高蛋白且 11S/7S 比值高有关的优异基因,为改良大豆育种提供理论支撑。

4 结论

通过 SDS-PAGE 电泳试验发现,4 个品种的同亚基在种子发育 S3—S9 时期,积累速率各有不同,蛋白含量高的品种中吉 601(44.826%)与其他蛋白含量低的品种的 β 亚基积累在 S3—S5 时期明显高于其他品种;4 个品种的 7S 组分亚基在 S3—S9 时期积累没有明显差异,而 11S 组分的亚基在 S3—S9 时期明显不同,11S/7S 比值低的品种中吉 601(1.059)与吉林小粒豆(1.022),11S 组分的 Basic 亚基在 S3—S9 时期含量相比其他亚基是最低的,而 11S/7S 比值高的品种黑河 23(1.324)与绥农 28(1.401),11S 组分中 Basic 亚基和 Acidic 亚基在 S3—S9 时期含量相比其他亚基含量较高,这表明不同品种 11S/7S 的比值高低与 Basic 亚基在种子发育过程中的积累相关。本研究揭示了 11S 和 7S 在不同品种间积累速率存在明显差异,7S 组分的亚基在不同品种不同时期的变化趋势基本相同,11S 组分的亚基在各个时期明显不同,中吉 601、吉林小粒豆的 Basic 亚基在 S3—S9 时期含量相对其他亚基是最低的,而黑河 23、绥农 28 中 11S 组分的 Basic 亚基和 Acidic 亚基在 S3—S9 时期含量相比其他亚基含量较高,为通过杂交创制高 11S/7S 优异种质提供了重要线索。

参考文献:

- [1] 张锡铭,王忠友,付建江. 加快功能性大豆新品种的推广应用为北大荒挺起中国大豆产业脊梁助力[J]. 农场经济管理,2010(12):39-42.
- [2] 李婉涛. 大豆营养研究进展[J]. 郑州牧业工程高等专科学校学报,1995,15(4):34-38,52.
- [3] 石楠,郭恬,卢俊玮. 大豆产业发展的困境及出路探析[J]. 湖南农业科学,2020(9):88-90.
- [4] NAISMITH W E. Ultracentrifuge studies on soya bean protein[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1955, 16(2): 203-210.
- [5] GEORGE A A, de LUMEN B O. A novel methionine-rich protein in soybean seed: identification, amino acid composition, and N-terminal sequence[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(1): 224-227.
- [6] 姜振峰,陈庆山,杨庆凯,等. 大豆种质资源贮藏蛋白亚基研究[J]. 东北农业大学学报,2006,37(5):596-603.
- [7] PANTHEE D R, PANTALONE V R, SAMS C E, et al. Quantitative trait loci controlling sulfur containing amino acids, methionine and cysteine, in soybean seeds [J]. TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik, 2006, 112(3): 546-553.
- [8] SAIO K, WATANABE T. Differences in functional properties of 7S and 11S soybean proteins[J]. Journal of Texture Studies, 1978, 9(1/2): 135-157.
- [9] 卢为国,王树峰,李卫东,等. 大豆籽粒贮藏蛋白 11S/7S 比值与生态因子相关关系的研究[J]. 中国农业科学,2005,38(5):1059-1064.

[10] 孟祥勋. 大豆种子贮藏蛋白研究[J]. 东北农业大学学报, 1997, 28(2): 201-207.

[11] 周瑞宝, 周兵. 大豆 7S 和 11S 球蛋白的结构和功能性质[J]. 中国粮油学报, 1998, 13(6): 39-42.

[12] NAGANOT, HIROTSUKA M, MORI H, et al. Dynamic viscoelastic study on the gelation of 7 S globulin from soybeans[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(6): 941-944.

[13] KOSHIYAMA I. Purification and physico-chemical properties of 11S globulin in Soybean seeds[J]. International Journal of Peptide and Protein Research, 2009, 4: 167-176.

[14] 胡超, 黄丽华, 李文哲. 大豆球蛋白 11S/7S 比值对大豆蛋白功能性的影响[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(1): 40-42.

[15] 赵现伟, 赵朝森, 王瑞珍, 等. 江西省大豆种质资源 7S 和 11S 球蛋白及其亚基相对含量分析[J]. 大豆科学, 2019, 38(4): 503-510.

[16] 张明俊, 李忠峰, 于莉莉, 等. 大豆子粒蛋白亚基变异种质的鉴定与筛选[J]. 作物杂志, 2018(3): 44-50.

[17] SUGIMOTO T, MOMMA M, HASHIZUME K, et al. Components of storage protein in hypocotyl-radicle axis of soybean. (*Glycine max.* cv. Enrei) seeds[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1987, 51(5): 1231-1238.

[18] LADIN B F, TIERNEY M L, MEINKE D W, et al. Developmental regulation of beta-conglycinin in soybean axes and cotyledons[J]. Plant Physiology, 1987, 84(1): 35-41.

[19] 王显生, 麻浩, 向世鹏, 等. 不同 SDS-PAGE 分离胶浓度条件下大豆贮藏蛋白亚基的分辨效果[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(2): 75-80.

[20] LAEMMLI U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4[J]. Nature, 1970, 227(5259): 680-685.

[21] 陈振家, 郝利平. 山西不同品种大豆贮藏蛋白提取及亚基分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2007, 27(1): 75-78.

[22] 张恒善, 梁振富, 杨玉环, 等. 大豆种子脂肪和蛋白质形成及积累规律的初步研究[J]. 大豆科学, 1990, 9(3): 191-197.

[23] 林忠平, 崔庆玲, 赵玉锦, 等. 利用免疫荧光法研究大豆种子发育过程中 11S 和 7S 蛋白的积累[J]. 中国科学(B 辑 化学生命科学地学), 1989, 19(3): 285-288, 337-338.

[24] 郑易之, 何孟元, 郝水. 大豆子叶中蛋白体的形成与贮藏蛋白质积累的关系[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1992, 34(8): 641-644.

[25] MEINKE D W, CHEN J, BEACHY R N. Expression of storage-protein genes during soybean seed development[J]. Planta, 1981, 153(2): 130-139.

[26] 许守民, 苗以农, 朱长甫, 等. 高、低蛋白含量的大豆种子贮藏蛋白积累的比较研究[J]. 植物学报, 1994, 36(2): 111-115.

[27] 赵国华, 阚建全, 陈宗道. 含硫氨基酸食品功能性[J]. 粮食与油脂, 1999, 12(4): 35-37.

[28] FUKUSHIMA D. Recent progress of soybean protein foods: chemistry, technology, and nutrition[J]. Food Reviews International, 1991, 7(3): 323-351.

Changes of Soybean Seed Protein Subunits and 11S/7S with Seed Development

YAN Xiaojuan¹, GU Yongzhe², HU Guolong², ZHANG Suqing³, LI Xin³, PI Zhi¹, ZHANG Fushun^{1,4}

(1. School of Modern Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Inner Mongolia Autonomous Region Agriculture and Animal Husbandry Technology Extension Center, Hohhot 010010, China; 4. Sugar Beet Quality Supervision and Inspection Testing Center of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150080, China)

Abstract: In order to promote the improvement of soybean protein quality, understand the dynamic changes of subunits of 11S and 7S components during the development of soybean seeds. in this study, SDS-PAGE was used to study the changes of protein subunits in four different soybean varieties during seed development. During seed development, it was found that the accumulation of β subunits in the variety Zhongji 601 (44.82%) with high protein content in the S4 stage was significantly higher than that of other varieties with low protein content. The accumulation of subunits in the 11S component of different soybean varieties was significantly different at different stages. Among the two varieties with low 11S/7S ratios, Zhongji 601 (1.059) and Jilin xiaolidou had a lower content of Basic subunits in the 11S component during the S3—S9 period compared to other subunits, while the two varieties with high 11S/7S ratios, Heihe 23 (1.324) and Suinong 28 (1.401), had a higher content of Basic and Acid subunits in the 11S component during the S3—S9 period compared to other subunits, which indicated the ratio of 11S/7S in different varieties was related to the accumulation of Basic subunits during seed development.

Keywords: soybeans; protein; 11S/7S; protein subunits; SDS-PAGE