

## 萌育对芝麻籽粒含氮物质的影响

张美月, 郝征红, 杨东霖, 王其峰, 赵 微, 颜 凤, 于世幸, 孙子恒

(山东农业工程学院 食品科学与工程学院, 济南 250100)

**摘要:**为探究芝麻籽粒萌育过程中含氮物质的变化,采用去离子水、0.5%氯化钙溶液、1%氯化钙溶液对芝麻籽粒浸泡30 min,然后在30℃下进行萌育处理,测定芝麻籽粒萌育0~72 h期间粗蛋白质、可溶性蛋白质、游离氨基酸、蛋白质水解度以及蛋白质分子质量的变化。结果表明:萌育过程中,粗蛋白质含量先减少后增加再减少;可溶性蛋白质含量在0~4 h略微增加,随后下降,72 h时降低了约25%,3种浸种处理方式变化趋势一致;游离氨基酸含量和蛋白质水解度逐渐增大,3种浸种处理方式游离氨基酸含量有显著性差异;SDS-PAGE结果显示,50~95 kDa蛋白质亚基的含量减少,11S蛋白的含量呈波动性变化,最终呈增加趋势,17 kDa蛋白质亚基的含量增加,2S蛋白的含量明显减少。研究说明萌育可以显著改变芝麻籽粒中含氮物质的含量,大分子蛋白质降解为小分子蛋白质,同时2S等小分子蛋白质也发生了降解。

**关键词:**芝麻;萌育;含氮物质

中图分类号:TS222+.1;S565.3 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)09-0095-07

### Effect of germination on nitrogen-containing substances in sesame seeds

ZHANG Meiyue, HAO Zhenghong, YANG Donglin, WANG Qifeng,

ZHAO Wei, YAN Feng, YU Shixing, SUN Ziheng

(School of Food Science and Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Jinan 250100, China)

**Abstract:** In order to explore the changes of nitrogen-containing substances during sesame seed germination, sesame seeds were soaked respectively in deionized water, 0.5% calcium chloride solution and 1% calcium chloride solution for 30 min and then germinated at 30℃. The changes of crude protein, soluble protein, free amino acids, degree of hydrolysis of protein and molecular weight of protein of sesame seed were measured during 0-72 h germination. The results showed that the content of crude protein decreased first, then increased and then decreased. The soluble protein content increased slightly at 0-4 h, then decreased, and decreased by about 25% at 72 h, and variation trend of three soaking methods was consistent. The content of free amino acids and the degree of hydrolysis of protein increased gradually, and there was significant difference in the content of free amino acids among the three soaking treatments. The results of SDS-PAGE showed that the content of 50-95 kDa protein subunit decreased, the content of 11S protein fluctuated during germination and finally increased, the content of 17 kDa protein subunit increased, and the content of 2S protein decreased significantly. The germination can significantly change the nitrogen content in sesame seeds, macromolecular proteins are degraded into small molecular proteins, and small molecular proteins such as 2S are also degraded.

**Key words:** sesame; germination; nitrogen-containing substance

收稿日期:2021-08-05;修回日期:2022-03-16

基金项目:山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ024)

作者简介:张美月(1998),女,在读本科,专业为食品科学与工程(E-mail)1137576741@qq.com。

通信作者:郝征红,教授(E-mail)2461726607@qq.com。

芝麻(*Sesamum indicum* Linn.),又称脂麻、胡麻、油麻、巨胜,是一年生草本油料作物<sup>[1]</sup>。芝麻在我国种植范围较广,河南、湖北、安徽和江西等省是我国最主要的芝麻种植区,种植面积超过全国的

70%。芝麻含油量约 55%，富含蛋白质和芝麻林素、芝麻素、维生素 E 等天然抗氧化物质<sup>[2-3]</sup>，具有很好的开发利用价值。但芝麻籽粒中含有植酸、草酸等抗营养成分，阻碍了人体对相关营养物质的吸收利用。

萌育处理是一种将植物籽粒内部营养价值提高或者产生新变化的途径<sup>[4]</sup>，尤其在提高蛋白质质量和功能特性方面有着显著的效果<sup>[5]</sup>。研究表明，萌育可以有效地将植物籽粒中储存的蛋白质降解成小分子含氮物质，利于人体吸收利用<sup>[6]</sup>。适当的萌育处理可以有效地降低植物籽粒中植酸等抗营养因子的水平，同时可以提高蛋白质的消化率，增加某些限制性氨基酸和维生素的含量，在改善食物营养的同时又形成独特的风味<sup>[6]</sup>。当前芝麻的研究领域大部分在芝麻籽粒本身具有的营养成分和优化芝麻油提取工艺上，对芝麻萌育的研究较少。用去离子水进行浸种处理可以提高种子发芽率<sup>[7]</sup>，氯化钙可影响酶的活性，调节多种生理过程，同时可诱导基因表达，与改良农作物产量和营养品质有重要关系<sup>[8]</sup>，因此本研究选用这两种条件对芝麻籽粒进行浸种处理，探究萌育过程中芝麻含氮物质的变化，以期对芝麻的深度开发利用提供一定的理论依据与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

芝麻(中芝 34)，山东无棣。

茛三酮，江苏阿尔法药业集团；考马斯亮蓝 G-250，国药集团化学试剂有限公司；牛血清蛋白，上海源叶生物科技有限公司；无水氯化钙，天津博迪化工股份有限公司；彩虹 180 广谱蛋白 Marker、SDS-PAGE 凝胶配制试剂盒，北京索莱宝科技有限公司；其余试剂均为分析纯。

V-5600 分光光度计，上海元析仪器有限公司；RXZ-500D 人工气候箱，杭州勒丰科技有限公司；TGL-20M 离心机，长沙湘仪离心机仪器有限公司；1645050 电泳仪，美国伯乐公司；DW-86L578J 超低温保存箱，青岛海尔生物医疗股份有限公司；GZX-9240MBE 电热鼓风干燥箱，上海博迅医疗生物仪器股份有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 芝麻的萌育

分别以去离子水、0.5% 和 1% 的氯化钙溶液为介质，浸泡芝麻 30 min(料液比 1:5)后，用去离子水冲洗 2 次，再置于人工气候箱中，在温度 30℃、湿度 65%、光照强度 60%、模拟昼夜交替(光照 16 h，黑暗 8 h)条件下进行萌育。分别在 0、4、8、12、24、36、

48、60、72 h 时取样，用滤纸迅速吸水后，用液氮速冻，置于 -80℃ 冰箱中储藏备用。

#### 1.2.2 芝麻含水量的测定

依照 GB 5009.3—2016 测定芝麻含水量。

#### 1.2.3 芝麻粗蛋白质含量的测定

依照 GB 5009.5—2016 测定芝麻中粗蛋白质含量(干基)，蛋白质折算系数为 5.30。

#### 1.2.4 芝麻可溶性蛋白质含量的测定

研磨芝麻样品，加入适量石油醚振荡、离心，取沉淀加蒸馏水定容，振荡，离心过滤后取上清液，参考焦洁<sup>[9]</sup>的考马斯亮蓝比色法测定可溶性蛋白质含量。

#### 1.2.5 芝麻蛋白质水解度的测定

以茛三酮为标准品，采用茛三酮比色法<sup>[10]</sup>测定样品中游离氨基酸含量。依照 GB 5009.124—2016 测定芝麻中总氨基酸含量，再参考张雅君等<sup>[5]</sup>的方法计算芝麻蛋白质水解度，见式(1)。

$$D = (N_i - N_{ck}) / N \times 100\% \quad (1)$$

式中： $D$  为芝麻蛋白质水解度； $N_{ck}$  为对照样品(未发芽芝麻)中游离氨基酸含量，mg/g； $N_i$  为发芽后的芝麻样品中游离氨基酸含量，mg/g； $N$  为芝麻总氨基酸含量，mg/g。

#### 1.2.6 芝麻蛋白质分子质量的测定

称取适量经冷冻干燥的芝麻样品，研磨后加入植物蛋白提取液，摇匀，浸提 30 min，12 000 r/min 离心 10 min 后，取上清液 300  $\mu$ L，加入 4  $\times$  蛋白上样缓冲液(含 DTT) 100  $\mu$ L，沸水浴加热 5 min 后，12 000 r/min 离心 5 min，将制备好的样品放入 -20℃ 冰箱保存备用。采用 SDS-PAGE 法测定芝麻蛋白质分子质量，参照 Nurfaidah<sup>[11]</sup>、李若昀<sup>[12]</sup> 的方法，结合本研究的特点适当修改，采用不连续垂直凝胶电泳，凝胶厚度 1.5 mm，15% 分离胶(pH 8.8)，5% 浓缩胶(pH 6.8)进行测试。

#### 1.2.7 数据统计与分析

试验均进行 3 次重复，结果以“平均值 $\pm$ 标准偏差”表示，数据采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析，Origin 2018 软件进行绘图，Image Lab 软件进行图像采集和分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中粗蛋白质的变化

芝麻不仅含油量高，蛋白质含量也比较高，一般在 20% 左右，因种植环境条件以及芝麻品种不同稍有差异<sup>[13]</sup>。芝麻萌育过程中粗蛋白质的变化情况见图 1。

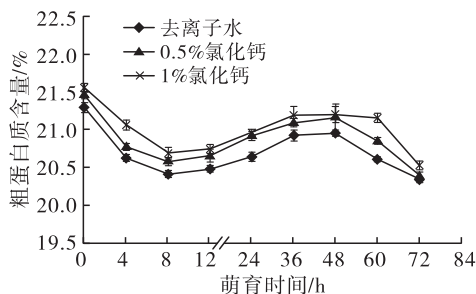


图1 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中粗蛋白质的变化

由图1可知,在3种不同浸种处理方式下芝麻中粗蛋白质含量的变化趋势一致,相同萌育时间下3种浸种方式处理的芝麻中粗蛋白质含量差异不显著( $p > 0.05$ )。相对来说,用0.5%氯化钙和1%氯化钙进行浸种处理,芝麻中粗蛋白质含量较高,这可能是由于在一定的浓度范围内,外源 $\text{Ca}^{2+}$ 可刺激液泡膜上或者细胞质膜上的 $\text{Ca}^{2+}$ 通道开放,增加细胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度,作为第二信使的 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度增大后立即启动信号传导系统,促使细胞核编码有关蛋白质的基因得以表达<sup>[8]</sup>,从而合成相关的蛋白质。

芝麻萌育过程中,粗蛋白质含量呈先下降后上升再下降的波动变化,这与张丽霞等<sup>[14]</sup>研究结果一致。在0~8 h,芝麻中粗蛋白质含量逐渐减少可能是:首先,由于萌育前对种子进行了浸种处理,芝麻种子吸水膨胀,使得芝麻籽粒中一些水溶性氮素溶解在浸种液中,不可避免地造成一部分氮损失<sup>[14]</sup>;其次,当种子开始萌芽时,蛋白质分解为酰胺和氨基酸,输送到正在生长的幼芽中<sup>[15]</sup>,此过程也会耗用一部分蛋白质。在8~48 h,芝麻中粗蛋白质含量逐渐增加可能是由于在此阶段呼吸速率迅速增加,胚生长较快,消耗较多的贮藏物质,干物质质量减少导致粗蛋白质含量相对增加<sup>[16]</sup>;除此之外,种子发芽期间,贮藏蛋白质被分解,产生一些次生代谢产物,萌发过程中胚的发育需要蛋白质等结构物质支撑,所以这些次生代谢产物又合成新的蛋白质,使得蛋白质含量增加。在48~72 h,芝麻中粗蛋白质含量有所下降,可能是因为蛋白酶的活性增强,分解蛋白质产生的能量用于胚根胚芽的快速生长,此分解速度大于合成蛋白质以用于胚生长的速度。

## 2.2 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中可溶性蛋白质的变化

可溶性蛋白质是一种主要的渗透协调物质,与植物的代谢、品质、生长等有关,可作为反映植物抗逆性的指标<sup>[17]</sup>。芝麻萌育过程中可溶性蛋白质的变化情况见图2。

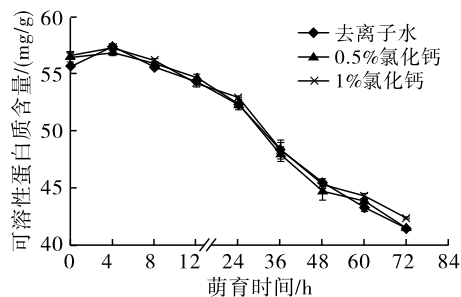


图2 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中可溶性蛋白质的变化

由图2可知,相同萌育时间下3种浸种方式处理的芝麻中可溶性蛋白质含量无显著性差异( $p > 0.05$ ),随着萌育时间的延长,可溶性蛋白质含量均先略有增加,然后逐渐下降。在0~4 h,即在快速吸胀期,可溶性蛋白质含量略有增加,4 h时达到高峰,原因可能是风干休眠的芝麻种子突然处于湿润环境,相当于水分对其产生胁迫作用,而可溶性蛋白质是一种抗逆蛋白,此时其含量增多是为了适应当下环境而产生的生理生化反应,其含量的增加还有可能是芝麻种子吸水后某些结合蛋白质从结合体上脱离,转变成可溶性蛋白质<sup>[18]</sup>。在此之后,芝麻中可溶性蛋白质含量越来越低,到72 h降低了约25%,原因主要是随着芝麻种子的吸水膨胀,蛋白酶被激活,可溶性蛋白质被分解为小分子肽和游离氨基酸,导致其含量降低<sup>[19]</sup>。本研究结果与李淑艳<sup>[18]</sup>、张雅君<sup>[19]</sup>及邓海云<sup>[20]</sup>等研究的大豆、花生和糙米发芽处理过程中可溶性蛋白质的变化趋势大体一致,即随着萌育时间的延长,可溶性蛋白质含量减少。

## 2.3 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中游离氨基酸的变化

游离氨基酸是植物细胞中重要的生物活性分子之一,是构建细胞和组织的基础材料。芝麻萌育过程中游离氨基酸的变化情况见图3。

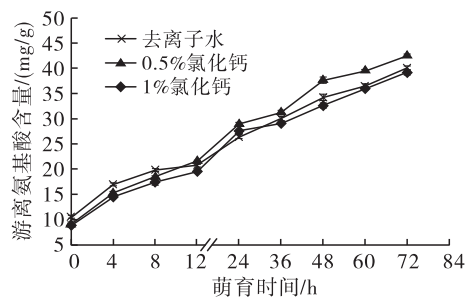


图3 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中游离氨基酸的变化

由图3可知,3种浸种处理方式对芝麻萌育过程中游离氨基酸含量的影响趋同,总体一直呈上升趋势,主要原因是为了满足芝麻萌育时各种生理生

化反应所需要的营养和能量需求, 萌育初期种子胚部吸水后可诱导蛋白酶的活性加强, 进而分解胚乳中的蛋白质, 将其降解为小分子肽, 然后进一步水解为游离氨基酸<sup>[21]</sup>。

芝麻萌育期间, 3种浸种方式处理的芝麻在相同萌育时间下的游离氨基酸含量有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。在 0~8 h, 去离子水处理的芝麻游离氨基酸含量比氯化钙溶液处理的多; 在 12~72 h, 0.5% 氯化钙溶液处理的芝麻游离氨基酸含量高于另外两种处理方式, 在 36~72 h, 去离子水处理的芝麻游离氨基酸含量比 1% 氯化钙溶液处理的多。Yoshihiro 等<sup>[22]</sup> 研究发现, 适当地施加  $\text{Ca}^{2+}$  可提高蛋白酶的活力。结合本研究结果, 在芝麻萌育的 12~72 h, 用 0.5% 氯化钙溶液处理芝麻可以促进蛋白质水解, 主要是由于一定浓度的氯化钙促使蛋白酶的活力增强; 但在萌育的 0~72 h 中, 用 1% 氯化钙溶液处理的芝麻游离氨基酸含量总体偏低, 可能是该浓度的  $\text{Ca}^{2+}$  对蛋白酶的活力有抑制作用, 使其分解蛋白质缓慢。张瑞<sup>[21]</sup> 研究显示, 芝麻发芽 3 d 后, 总游离氨基酸含量增加了 4.48 倍; 李昕悦等<sup>[23]</sup> 研究发现, 芝麻在萌育 0~2 d 内总游离氨基酸含量一直呈上升趋势; 均与本研究结果一致。

#### 2.4 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中蛋白质水解度的变化

水解度是发芽过程中蛋白质生理代谢变化的一个十分关键的指标。芝麻萌育过程中蛋白质水解度

的变化情况见图 4。

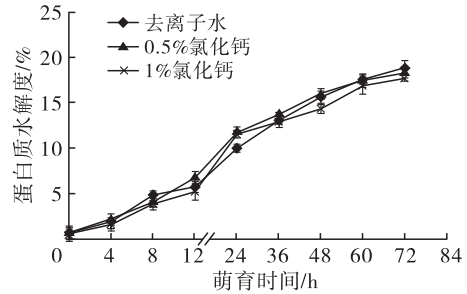


图 4 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中蛋白质水解度的变化

由图 4 可知, 3种浸种处理方式下芝麻萌育过程中蛋白质水解度的变化趋势一致, 且在相同萌育时间下无显著性差异 ( $p > 0.05$ ), 总体表现为蛋白质水解度逐渐增大, 72 h 的蛋白质水解度比 0 h 提高了约 18 个百分点。整体来看, 在 0~72 h 的萌育过程中蛋白质水解度一直呈上升趋势, 这与张雅君<sup>[5]</sup>、张浩<sup>[24]</sup> 等研究的花生中蛋白质水解度变化结果一致, 其原因可能是芝麻种子在适宜的湿度和温度下萌发, 在此过程中蛋白酶被激活或合成, 作为芝麻主要贮藏物质的蛋白质在酶作用下被降解, 从而导致水解度增加。

#### 2.5 不同浸种处理与萌育时间下芝麻中蛋白质分子质量的变化

按照 1.2.6 方法对萌育过程不同浸种方式处理的芝麻蛋白质进行 SDS-PAGE 分析, 结果分别如图 5~图 7 所示。

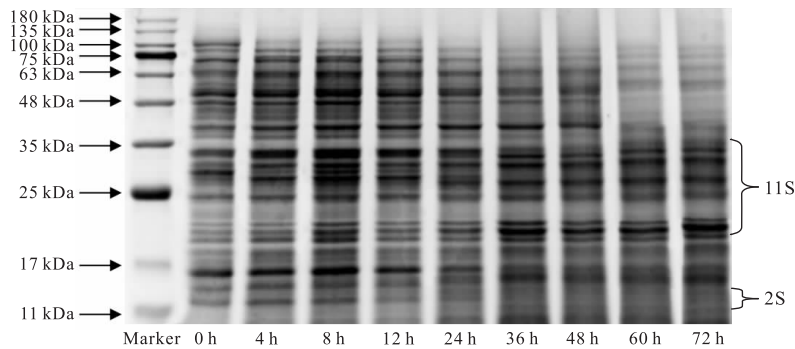


图 5 去离子水浸种处理不同萌育时间下芝麻中蛋白质的 SDS-PAGE 图

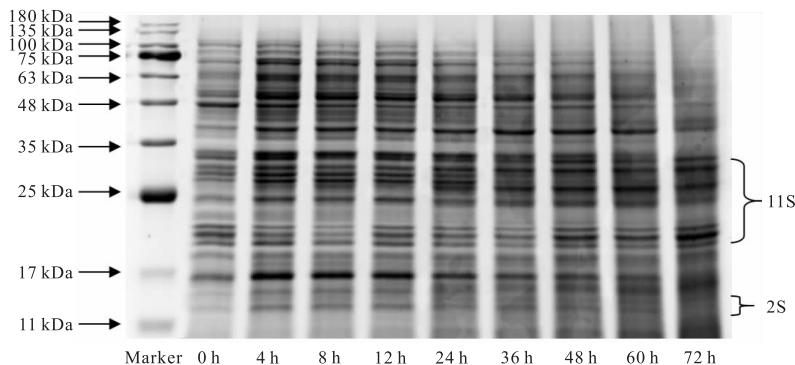


图 6 0.5% 氯化钙溶液浸种处理不同萌育时间下芝麻中蛋白质的 SDS-PAGE 图

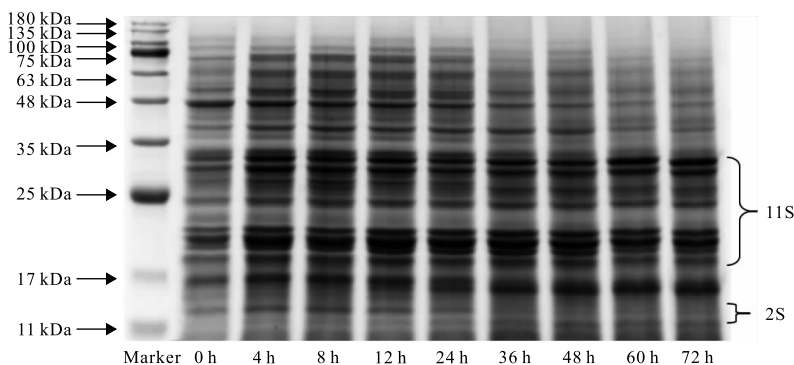


图 7 1%氯化钙溶液浸种处理不同萌育时间下芝麻中蛋白质的 SDS - PAGE 图

以 SDS - PAGE 图中标准蛋白 Marker 分子质量的对数为纵坐标,其相对迁移率(为其迁移距离与指示剂迁移距离的比值)为横坐标绘制标准曲线,拟合得到标准曲线方程,再根据不同样品条带的相

对迁移率计算不同条带的蛋白质分子质量。采用 Image Lab 软件分析蛋白质亚基的相对含量(以该亚基占所在泳道所有目标亚基的体积分数表示),结果见表 1 ~ 表 3。

表 1 去离子水浸种处理不同萌育时间下芝麻中蛋白质亚基的变化

条带	分子质量/kDa	不同萌育时间的相对含量/%								
		0 h	4 h	8 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
1	91 ~ 96	6.8	6.6	5.2	4.7	3.8	2.7	2.1	1.1	0.8
2	83 ~ 87	7.0	7.8	8.0	7.4	6.3	3.3	2.5	2.3	2.0
3	75 ~ 81	7.5	7.7	7.8	7.2	6.9	6.1	6.1	5.7	5.5
4	64 ~ 71	8.5	8.5	8.8	8.8	8.5	8.0	8.0	6.1	6.1
5	58 ~ 66	6.9	7.0	7.2	6.2	6.0	5.6	5.5	4.9	4.8
6	46 ~ 48	5.2	5.4	5.4	5.2	5.2	5.0	5.3	4.6	5.5
7	38 ~ 40	9.4	9.5	9.8	9.8	9.0	10.2	9.5	9.7	8.3
8	33 ~ 36	5.3	5.5	5.8	7.5	7.6	8.1	8.1	9.6	10.0
9	31 ~ 33	8.3	8.2	6.5	6.2	6.8	7.6	8.6	9.6	9.5
10	26 ~ 27	5.6	4.5	5.8	6.0	6.0	7.2	6.8	6.9	7.2
11	20 ~ 22	4.8	3.9	4.1	4.6	5.3	5.6	5.6	6.9	7.5
12	19 ~ 21	4.5	4.1	4.2	6.0	7.1	8.8	9.4	9.7	9.6
13	18 ~ 19	3.6	4.1	4.3	4.1	5.5	6.7	8.5	9.9	10.5
14	15 ~ 16	7.6	7.9	8.0	8.5	8.6	8.8	8.7	9.5	10.4
15	14 ~ 15	4.6	4.8	4.7	4.0	3.9	3.1	2.5	1.6	1.0
16	13 ~ 14	4.4	4.5	4.4	3.8	3.5	3.2	2.8	1.9	1.2

表 2 0.5%氯化钙溶液浸种处理不同萌育时间下芝麻中蛋白质亚基的变化

条带	分子质量/kDa	不同萌育时间的相对含量/%								
		0 h	4 h	8 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
1	93 ~ 98	5.4	5.7	6.5	6.3	4.6	4.6	3.2	1.4	1.1
2	85 ~ 87	7.0	7.8	8.7	8.0	6.8	5.5	4.6	3.7	3.2
3	75 ~ 78	7.6	6.4	7.4	7.2	7.2	7.4	7.1	5.9	4.7
4	64 ~ 70	9.0	4.8	6.0	4.7	6.6	7.4	6.4	5.7	4.2
5	58 ~ 60	11.0	3.1	3.1	1.9	2.2	2.6	3.9	3.1	2.7
6	47 ~ 49	5.6	6.2	7.3	6.5	7.4	8.6	8.2	8.0	7.6
7	37 ~ 39	7.8	9.2	10.2	8.9	9.3	7.6	7.9	9.2	9.8
8	34 ~ 36	7.3	7.7	7.8	7.3	8.7	8.5	9.0	10.2	11.4
9	29 ~ 32	6.2	8.2	9.5	7.9	9.1	8.7	9.7	12.4	11.9
10	26 ~ 27	5.5	6.2	6.9	6.7	6.1	7.2	7.5	8.5	8.9
11	20 ~ 22	4.4	3.6	2.6	4.4	3.9	3.0	4.5	4.8	7.1

续表 2

条带	分子质量/kDa	不同萌育时间的相对含量/%									
		0 h	4 h	8 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h	
12	19~21	7.8	5.4	4.1	6.3	5.8	5.6	7.7	8.2	8.6	
13	18~19	5.0	5.2	4.1	4.7	4.5	4.4	4.3	4.4	6.0	
14	15~16	6.6	10.9	9.1	9.6	8.4	8.7	9.6	9.6	10.1	
15	14~16	2.1	4.9	2.8	5.0	5.5	5.8	3.4	2.9	2.3	
16	12~13	1.6	4.8	3.2	4.7	3.9	4.4	3.0	2.0	0.4	

表 3 1%氯化钙溶液浸种处理不同萌育时间下芝麻中蛋白质亚基的变化

条带	分子质量/kDa	不同萌育时间的相对含量/%									
		0 h	4 h	8 h	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h	
1	93~96	5.5	4.7	4.9	5.5	5.5	2.3	2.0	1.8	1.2	
2	85~87	7.1	8.7	10.1	8.5	8.3	3.8	4.8	4.0	3.4	
3	77~80	7.6	7.4	8.4	7.3	9.3	7.2	7.7	5.6	4.6	
4	66~68	7.9	5.3	5.6	4.2	8.7	7.8	7.1	6.1	5.4	
5	58~62	12.0	6.3	5.4	5.4	9.0	6.8	6.6	4.9	4.2	
6	47~50	5.7	4.9	5.4	5.2	6.4	6.5	6.1	4.4	4.4	
7	38~39	8.0	11.0	8.8	9.9	7.5	9.4	9.3	12.4	11.6	
8	35~38	7.8	10.3	9.3	9.6	7.8	9.3	8.7	10.9	10.2	
9	30~32	5.9	7.4	7.3	6.7	6.0	7.2	7.1	7.6	8.2	
10	26~27	4.3	4.7	5.0	5.5	5.3	6.8	7.3	7.1	7.8	
11	20~22	5.8	6.8	6.2	8.0	6.8	8.8	8.7	9.6	10.0	
12	19~20	7.5	7.8	7.5	8.8	7.3	9.1	9.4	10.0	10.8	
13	17~19	4.4	2.9	3.9	4.8	4.5	6.7	6.4	6.9	7.8	
14	15~17	5.9	5.7	5.7	4.8	4.2	5.9	6.2	7.0	9.0	
15	14~15	1.9	2.4	3.0	2.7	1.7	1.3	1.7	1.0	0.8	
16	13	2.6	3.6	3.5	3.1	1.8	1.2	1.0	0.8	0.6	

由图 5~图 7 和表 1~表 3 可知,3 种浸种处理方式下芝麻中蛋白质亚基种类没有发生变化,变化主要体现在亚基含量上。李若昀<sup>[12]</sup>、张国治<sup>[25]</sup>、Achouri<sup>[26]</sup> 等研究指出,芝麻中的大部分蛋白质是贮藏蛋白质,主要由 2S 和 11S 蛋白组成,11S 蛋白是芝麻蛋白的主体,被命名为  $\alpha$ -球蛋白,占 60%~70%,为水不溶性蛋白质,由酸性亚基(30~35 kDa)和碱性亚基(20~25 kDa)组成,2S 蛋白被命名为  $\beta$ -球蛋白,亚基分子质量在 13~15 kDa,是一种水溶性蛋白质。由表 1~表 3 还可知:随着萌育时间的延长,总体上 50~95 kDa 之间大分子蛋白质的亚基发生明显降解,推测主要原因是芝麻在萌育过程中蛋白酶被激活,大分子质量的蛋白质在酶作用下部分被分解,生成小分子物质;20~35 kDa 的 11S 蛋白亚基在 0~72 h 萌育期间其含量呈波动变化,72 h 时总体含量增加,原因可能是芝麻萌育过程中这类贮藏蛋白被分解后的产物又被用于合成具有其他功能的结构蛋白,此过程反复进行;17 kDa 附近的蛋白质的亚基含量随萌育时间的延长逐渐增加,条带明显变宽;2S 蛋白亚基含量基本随萌育时间的延长逐渐减少,该变化在 3 种浸种处理方式中

都有明显的体现,这与本文研究的可溶性蛋白质含量变化趋势基本一致,说明芝麻萌育过程中小分子蛋白质也会被降解,从而产生分子质量更小的蛋白亚基,此结果在电泳图上未显示,有待进一步探究。

### 3 结论

芝麻萌育过程中,粗蛋白质含量先减少后增加再减少,可溶性蛋白质含量先略微增加后下降,3 种浸种处理方式下粗蛋白质和可溶性蛋白质含量无显著性差异( $p > 0.05$ );游离氨基酸含量和蛋白质水解度随萌育时间的延长呈上升趋势,且 3 种浸种处理方式下游离氨基酸含量有显著性差异( $p < 0.05$ ),而水解度则无显著性差异( $p > 0.05$ )。SDS-PAGE 测定结果显示,随着萌育时间的延长,总体来看,芝麻中大分子蛋白质含量逐渐降低甚至消失,小分子蛋白质含量逐渐增加,另外,2S 蛋白作为芝麻中水溶性蛋白质,其含量也显著降低,说明芝麻萌育过程中小分子蛋白质也会被降解。本研究中测定指标的变化说明了发芽可以显著改变芝麻中含氮物质含量,推测其机制在于萌发可以使种子内在的蛋白酶活化,从而降解贮藏蛋白转化为小分子物质,为机体生长部位提供原料,产生的能量用来合成新物质。



## 参考文献:

- [1] 张坤. 食药俱佳的芝麻叶[J]. 科学养生, 2018(9):17.
- [2] 张森, 文芬, 邵雪梅, 等. 响应面法优化芝麻饼粕中芝麻蛋白的提取工艺[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(12): 49-52.
- [3] 孙建, 周红英, 乐美旺, 等. 芝麻种子萌发动态及其代谢生理变化研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(8): 41-48.
- [4] 李淑艳. 萌发过程大豆蛋白质动态变化及营养价值的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2009.
- [5] 张雅君, 张静林, 张浩, 等. 花生(*Arachis hypogaea* L.) 发芽过程中含氮物质的变化[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 28-33.
- [6] 韩亚飞. 芝麻生长及加工过程对蛋白质水溶性的影响[D]. 郑州:河南工业大学, 2018.
- [7] 邢维芹, 刘辉, 曾冰, 等. 光照和浸种对5种具有修复重金属污染土壤潜力的植物种子萌发的影响[J]. 种子, 2017(9):72-75.
- [8] 王新坤. 钙处理改善大豆芽菜营养与功能品质的机制[D]. 南京:南京农业大学, 2016.
- [9] 焦洁. 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定苜蓿中可溶性蛋白含量[J]. 农业工程技术, 2016, 36(17): 33-34.
- [10] 刘长姣, 杨越越, 王妮, 等. 茚三酮比色法测定黄秋葵氨基酸含量的不确定度评定[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(9): 92-95.
- [11] NURFAIDA H, METUSALAC H, MAHENDRADATTA M, et al. Analysis of molecular weight albumin concentrate on various types of freshwater fish using SDS - page electrophoresis method [C]// IOP conference series: earth and environmental science. [S.l.]:IOP Publishing, 2020.
- [12] 李若昀. 芝麻 11S 蛋白制备抗氧化肽研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2017.
- [13] 张国治, 张富重, 黄纪念. 芝麻加工的研究进展及展望[J]. 粮食加工, 2020, 45(1): 43-46.
- [14] 张丽霞, 孙强, 芦鑫, 等. 萌芽过程中芝麻主要成分的动态变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 206-211.
- [15] 许兰杰, 梁慧珍, 余永亮, 等. 盐碱胁迫下芝麻种子萌发过程中营养物质的动态变化规律[J]. 河南农业科学, 2016, 45(4): 43-48.
- [16] SANGRONIS E, RODRIGUEZ M, CAVA R, et al. Protein quality of germinated *Phaseolus vulgaris* [J]. Eur Food Res Technol, 2006, 222: 144-148.
- [17] 张会灵, 高文, 陈双臣, 等. 氯化钙对盐胁迫下豌豆种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 中国种业, 2016(3): 38-40.
- [18] 李淑艳, 王建中. 大豆种子萌发过程中蛋白质的变化[J]. 中国种业, 2009(4): 41-43.
- [19] 张雅君. 花生籽粒发芽过程中过敏原的变化与控制[D]. 南京:南京农业大学, 2015.
- [20] 邓海云, 夏陈, 陈琳, 等. 糙米发芽前后淀粉及可溶性蛋白特性对比研究[C]//中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集. 北京:中国食品科学技术学会, 2018.
- [21] 张瑞. 芝麻籽粒萌发过程中主要营养与功能性物质变化研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2019.
- [22] YOSHIHIRO B, KEIGO N, YOKO F, et al. Essential function for the calcium sensor STIM1 in mast cell activation and anaphylactic responses [J]. Nat Immunol, 2008, 9(1): 81-88.
- [23] 李昕悦, 杨润强, 王沛, 等. 芝麻菜种子萌发过程中芽苗生长和硫苷代谢[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 51-55,60.
- [24] 张浩. 花生发芽过程中蛋白质结构和功能特性变化及其乳饮料开发的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2014.
- [25] 张国治, 袁东振, 芦鑫, 等. 3种芝麻蛋白结构和性质比较研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(7): 55-58,64.
- [26] ACHOURI A, NAIL V, BOYE J I. Sesame protein isolate: fractionation, secondary structure and functional properties [J]. Food Res Int, 2012, 46(1):360-369.

· 公益广告 ·



# 节能减排，提质增效！

《中国油脂》宣