

不同大豆品种萌芽过程营养成分变化规律比较

张永芳, 王明明, 赵丽华, 张东旭, 贾永芳, 王建敏, 李可莹, 陈凌心
(山西大同大学, 山西 大同, 037009)

摘要:大豆被誉为“黄金食品”, 萌芽大豆抗营养因子和气味得到改善, 营养价值较高, 深受消费者的喜爱。本实验选取了10个来源不同的大豆品种作为实验材料, 用25 °C蒸馏水浸泡使其萌发, 通过测量不同时期萌芽大豆的蛋白质、还原糖、粗纤维含量, 找出在萌发过程中大豆营养物质变化的规律, 为萌芽大豆的进一步食品制作和生产提供实验依据。结果表明, 不同大豆品种营养成分含量不同; 大豆在萌发第1 d时, 蛋白质的含量有所下降, 之后随着萌芽时间的延长而逐渐增加; 而还原糖和粗纤维的含量在萌发过程中平稳上升。综上所述, 与未萌芽大豆相比, 萌芽第7 d的大豆蛋白质、还原糖、粗纤维含量最高且差异达到显著水平。在实际生活中, 选择萌芽7 d蛋白质含量较高的翠扇大豆及还原糖和粗纤维含量较高的绿75进行生产、加工和利用。

关键词:大豆; 萌发; 营养成分; 蛋白质; 还原糖; 粗纤维含量

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2022)06-1368-07

Comparison of nutrient composition changes of different soybean varieties during germination

ZHANG Yong-fang, WANG Ming-ming, ZHAO Li-hua, ZHANG Dong-xu, JIA Yong-fang,
WANG Jian-min, LI Ke-ying, CHEN Ling-xin
(Shanxi Datong University, Datong 037009, China)

Abstract: Soybean is known as "golden food". The anti-nutritional factors and smell of sprouting soybean are improved, and the nutritional value is high, which is deeply loved by consumers. In this experiment, 10 soybean varieties from different sources were selected as experimental materials and soaked in 25 °C distilled water to germinate. The contents of protein, reducing sugar and crude fiber of germinating soybean in different periods were measured, and then the rules of nutrient changes in the process of germination were found out, which provided experimental basis for further food production and production of germinating soybean. The results showed that the nutrient contents of different soybean varieties were different. The protein content of soybean decreased on the first day of germination, and then increased with the extension of germination time. The contents of reducing sugar and crude fiber increased steadily during germination. In conclusion, compared with non-sprouting soybean, the protein, reducing sugar and crude fiber content of 7-day sprouting soybean were the highest, and the difference reached a significant level. Cuishan soybean with high protein content and Lyu75 with high reducing sugar and crude fiber content were commended for further production, processing and utilization on the 7th day of germination.

Key words: soybean; germination; nutritional components; protein; reducing sugar; crude fiber

大豆起源于中国, 世界上各国种植的大豆几乎都直接或间接来自中国^[1], 从商周时代到秦汉时代, 大豆始终都是中国人民的重要粮食之一。大豆营养价值丰富^[2], 富含蛋白质、脂肪、不饱和脂肪酸、矿物质、糖类和维生素等多种营养物质。豆制品至今

已经有2000多年的历史^[3], 其中萌芽大豆是我国食品四大发明之一。当前, 萌芽被认为是一种廉价、简单、低碳的加工方式, 更是一种有效改善其营养成分和加工品质的方法^[4-5]。大豆在萌发过程中, 大豆的许多特性得到改善, 包括营养成分和功能活性

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 国家青年自然科学基金项目(31801872); 山西大同市科技攻关项目(2020044; 2020016; 2020053); 山西大同大学大学生创新创业项目(XDC2020135); 山西大同大学产学研专项研究项目(2020CXZ14)

作者简介: 张永芳(1982-), 女, 博士, 讲师, 从事植物学及分子生物学研究

成分含量升高、抗多种疾病的 γ -氨基丁酸增加、抗营养物质含量降低并且口感更加鲜嫩。同时,萌发能够产生一系列生理、生化改变,以此提高大豆的营养价值^[6]。所以,利用大豆萌芽生产的豆芽深受消费者喜欢^[7]。

目前,有关大豆萌发过程中营养物质变化研究相对较多,研究普遍认为大豆萌芽过程中,蛋白质、脂肪、糖类等均被分解为维生素、氨基酸、脂肪酸、还原糖等小分子物质,从而参与到物质和能量转化的代谢中。如王薇^[8]研究表明,黑豆种子萌芽过程中维生素C的含量显著提高。王艳梅等^[9]人以单一大豆品种为材料,研究其萌发过程中功能性营养成分变化规律,认为大豆在萌发期营养价值要高于未萌发状态。王洪涛等^[10]对3个不同大豆品种萌发过程中营养物质变化规律进行研究,表明蛋白质含量先降低后上升,还原糖、维生素C含量逐渐增加。阮有志等^[11]研究表明萌芽大豆粉蛋糕组织结构均匀细腻,色泽和风味都达到了最佳。王燕翔等^[12]则认为萌芽大豆有助于豆腐品质、活性因子及营养成分含量增加。Kim等^[13]研究表明阿及宁的含量在大豆萌芽过程中显著增加。Dhakar等^[14]人发现大豆萌发过程中顺-9-十八(碳)烯酸、十八碳二烯酸、十八碳-9,12,15-三烯酸等含双键的脂肪酸浓度下降,但下降的趋势不明显。Fordham等^[15]人发现,萌发的大豆多种维生素含量均有所增加。Sugawara等^[16]人发现,随着萌芽的时间的推迟,大豆中胰酶抑制剂活性明显下降。

综上所述,前人研究较多是有关一种或几种萌芽大豆营养物质的变化规律,针对不同大豆品种多个营养物质在萌芽过程中的变化规律差异研究较少。本研究选取了10个大豆品种,测定了蛋白质、还原糖和粗纤维在大豆萌发过程中的含量变化规律,以期对萌芽大豆食品制作和生产提供实验依据,以改善人们的饮食健康。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 种子 本研究所采用的10个大豆品种均由中国农业科学院作物科学研究所提供,分别为绿75(台湾省)、浙鲜豆3号(浙江省)、黑农69(黑龙江省)、翠扇大豆(山东省)、CM60(日本)、冀NF58(河北省)、Williams82(美国)、晋豆21(山西省)、中品661(北京市)、JACK(美国)。

1.1.2 主要试剂 考马斯亮蓝G-250、95%乙醇、

85%磷酸(W/V)、牛血清蛋白、酒石酸钾钠、苯酚、亚硫酸钠、3,5-硝基水杨酸、80%乙醇、12.5 g/L氢氧化钠、稀硫酸溶液、标准蛋白质溶液、1 mg/mL标准葡萄糖溶液。

1.2 主要仪器与设备

循环水式多用真空泵SHZ-D(III),郑州予达仪器科技有限公司;可见分光光度计SP-723,上海博讯实业有限公司;万分之一电子天平FA1004,上海舜宇恒平有限公司;离心机H7150,上海化工机械厂有限公司;光照培养箱250D,常州国华电器有限公司;数显恒温水浴锅DZKW-D-1,金坛市国旺实验仪器厂。

1.3 方法

大豆萌芽过程中蛋白质含量采用考马斯亮蓝法,按李娟等^[17]人的方法进行测定;还原糖含量采用3,5-二硝基水杨酸比色法,按照高文军等^[18]人的方法进行测定;粗纤维含量采用酸洗涤法,按照苗颖等^[19]人的方法进行测定。所有测定均进行了3次重复,最后计算其平均值。

1.3.1 大豆萌发处理 挑选颗粒饱满,色泽光鲜,无破损的大豆,将其分类放入培养皿中。用蒸馏水清洗3次,然后,把大豆放在25℃的水中泡24 h。换完水后,在大豆表面盖上一层纱布,放在25℃下的培养箱中,并开始记录时间。把萌芽到1、2、3、4、5、6、7 d的豆芽清洗干净,放置在培养皿中备用。

1.3.2 大豆萌发过程中蛋白质的提取及测定 准确称取长势一致的萌芽大豆0.2 g加入4 mL蒸馏水,在研钵中磨碎成匀浆,倒入离心管中,4000 r/min离心10 min,取上清,再4000 r/min离心10 min,取上清液于10 mL容量瓶并定容。取0.1 mL大豆组织样液加入0.9 mL水、5 mL考马斯亮蓝G-250振荡混匀,静置2 min,于可见分光光度计595 nm处测定吸光度。

1.3.3 大豆萌发过程中还原糖的提取及测定 准确称取长势一致的萌芽大豆0.05 g加入乙醇4 mL,在研钵中磨碎成匀浆,倒入离心管中8000 r/min离心5 min,取上清液于25 mL容量瓶中,剩余残渣再于离心机8000 r/min离心5 min、将两次上清液合并,加入0.5 g活性炭,定容,80℃下褪色30 min,过滤取滤液,备用。取滤液3 mL于可见分光光度计540 nm处测吸光度。

1.3.4 大豆萌发过程中粗纤维含量的测定 选择长势一致的萌芽大豆0.1 g加入20 mL 1.25%的稀硫酸煮沸30 min,用质量为 m_1 的滤纸过滤萌芽大豆

样液,用1.25%的NaOH溶液将滤纸上的沉淀完全洗入瓶中,再次煮沸30 min后过滤,烘干滤纸,称滤纸的重量 m_2 ,得粗纤维的质量为 m_2-m_1 。

1.4 数据分析与统计

采用Excel 2010软件进行数据计算并作图,应用SPSS 25.0软件对数据进行单因素方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 大豆萌发过程中蛋白质含量变化

大豆未萌发时不同品种蛋白质含量不同(表1),其中翠扇大豆蛋白质含量最高,为46.94%。其次依次是绿75、晋豆21、冀NF58、CM60、中品661、浙鲜豆3号、Williams82、JACK,黑农69蛋白质含量最低,为35.89%。

10个大豆品种萌芽过程中蛋白质含量变化规律基本一致,如图1所示,浙鲜豆3号、黑农69、翠扇大豆、CM60、冀NF58、Williams82、晋豆21、中品661、绿75、JACK在萌芽1 d后蛋白质含量分别下降了5.10%、5.30%、7.70%、4.40%、4.00%、4.90%、4.20%、4.80%、4.40%、5.40%。到萌芽第7 d时,分别增加了3.30%、4.00%、0.80%、2.40%、2.10%、2.30%、2.00%、2.00%、1.20%、3.50%。且在7 d的萌芽过程中,与未萌芽大豆的蛋白质含量相比,差异均达到了显著水平($P<0.05$)。10个品种的大豆蛋白质含量在萌芽第1 d就有所下降,一方面,种

子萌发过程中可溶性氮的流失导致总蛋白含量下降。另一方面,可能是由于萌芽初期消耗掉了一些营养物质所致。之后,随着萌芽时刻的推迟,大豆中的脂肪等营养物质被消耗并转化为蛋白质,最终提高了萌芽大豆中的蛋白质含量。

2.2 大豆萌发过程中粗纤维含量变化

大豆未萌发时不同品种粗纤维含量不同(表1),其中绿75粗纤维含量最高,为9.41%。其次为中品661、翠扇大豆、冀NF58、浙鲜豆3号、JACK、黑农69、晋豆21、CM60, Williams82粗纤维含量较低,为4.96%。萌芽7 d的大豆与未萌芽的大豆相比,浙鲜豆3号、黑农69、翠扇大豆、CM60、冀NF58、Williams82、晋豆21、中品661、绿75、JACK的粗纤维含量分别增加了28.70%、34.60%、26.20%、36.90%、22.60%、45.40%、35.00%、20.80%、17.50%、24.80%。

如图2所示,10个品种的大豆在7 d的萌芽过程中粗纤维含量的变化规律基本相同,10个大豆品种在萌芽过程中粗纤维含量均随着萌芽时间的延长而逐渐增加。且在7 d的萌芽过程中,与未萌芽大豆粗纤维含量相比,差异均达到了显著水平($P<0.05$)。这是由于种子萌发时,纤维素酶被活化,更加有利于种子的生长,而纤维素酶活化使得粗纤维的含量增加。

2.3 大豆萌发过程中还原糖含量变化

大豆未萌发时不同品种还原糖含量不同(表

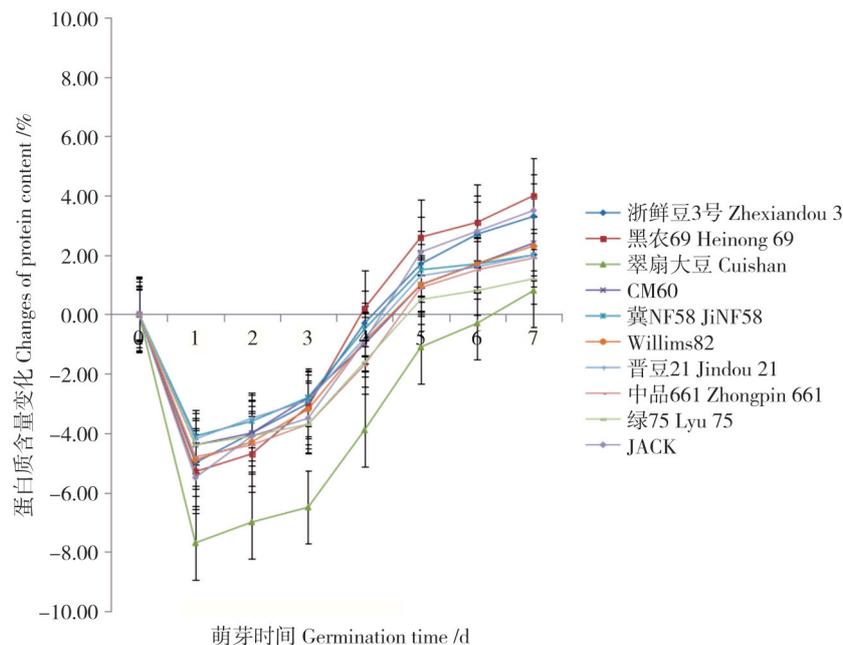


图1 10个大豆品种萌芽过程中蛋白质含量变化规律

Fig. 1 Changes of protein content in 10 soybean varieties during germination

表1 不同品种大豆萌芽过程中营养成分含量
Table 1 Nutrient content of different soybean varieties during germination

营养成分 Nutritional ingredient	大豆品种 Soybean varieties	萌芽时间 Germination time							
		0 d	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
蛋白质含量 Protein content/%	浙鲜豆3号 Zhexiandou 3	38.91±0.021d	36.92±0.020h	37.21±0.017g	37.86±0.025f	38.76±0.020e	39.61±0.026c	39.96±0.020b	40.21±0.026a
	黑农69 Heiiong 69	35.89±0.010e	33.99±0.026h	34.22±0.026g	34.76±0.044f	35.96±0.020d	36.81±0.026c	37.01±0.010b	37.34±0.026a
	翠扇大豆 Cuishandadlou	46.94±0.026b	43.32±0.046h	43.65±0.020g	43.90±0.026f	45.13±0.044e	46.42±0.026d	46.81±0.062c	47.33±0.026a
	CM60	43.77±0.036d	41.84±0.030h	42.01±0.026g	42.54±0.026f	43.34±0.053e	44.21±0.044c	44.5±0.036b	44.81±0.053a
	冀NF58 J: NF58	44.11±0.026d	42.32±0.026h	42.51±0.036g	42.88±0.017f	43.89±0.030e	44.76±0.036c	44.88±0.017b	45.01±0.036a
	Williams82	38.8±0.036d	36.90±0.036h	37.14±0.036g	37.56±0.036f	38.44±0.026e	39.20±0.036c	39.45±0.026b	39.68±0.010a
	晋豆21 Jindou 21	44.20±0.026d	42.36±0.036h	42.67±0.044g	42.93±0.031f	43.85±0.036e	44.78±0.044c	44.89±0.026b	45.09±0.026a
	中品661 Zhongpin 661	42.75±0.036d	40.69±0.026h	40.88±0.044g	41.15±0.044f	42.01±0.036e	43.12±0.026c	43.38±0.010b	43.58±0.036a
	绿75 Lyu 75	44.38±0.026d	42.42±0.026h	42.57±0.026g	42.74±0.036f	43.65±0.026e	44.58±0.044c	44.73±0.026b	44.91±0.026a
	JACK	37.32±0.036d	35.26±0.026h	35.78±0.026g	36.01±0.010f	37.00±0.036e	38.11±0.040c	38.38±0.044b	38.61±0.026a
还原糖含量 Reducing sugar content /%	浙鲜豆3号 Zhexiandou 3	7.66±0.036h	7.83±0.021g	7.99±0.084f	8.67±0.026e	9.58±0.036d	9.66±0.044c	9.86±0.026b	10.00±0.026a
	黑农69 Heiiong 69	6.38±0.026h	6.59±0.036g	6.73±0.036f	7.66±0.026e	8.49±0.010d	8.86±0.036c	8.99±0.040b	9.13±0.026a
	翠扇大豆 Cuishandadlou	4.83±0.026h	4.96±0.026g	5.12±0.020f	6.01±0.026e	6.86±0.044d	6.98±0.026c	7.13±0.026b	7.28±0.026a
	CM60	2.96±0.044h	3.12±0.026g	3.46±0.044f	4.32±0.020e	5.28±0.026d	5.36±0.046c	5.54±0.036b	5.67±0.035a
	冀NF58 J: NF58	2.57±0.060h	2.86±0.026g	2.98±0.023f	3.86±0.026e	4.63±0.030d	4.87±0.043c	4.99±0.026b	5.19±0.045a
	Williams82	6.43±0.026h	6.61±0.017g	6.87±0.026f	7.64±0.036e	8.59±0.053d	8.76±0.026c	8.94±0.026b	9.17±0.061a
	晋豆21 Jindou 21	4.28±0.026h	4.46±0.053g	4.65±0.044f	5.34±0.026e	6.28±0.035d	6.43±0.026c	6.84±0.010b	6.98±0.061a
	中品661 Zhongpin 661	4.34±0.036h	4.56±0.087g	4.78±0.044f	5.67±0.026e	6.54±0.026d	6.71±0.026c	6.89±0.078b	6.98±0.026a
	绿75 Lyu 75	9.65±0.026h	9.81±0.026g	10.63±0.070f	11.52±0.010e	11.74±0.017d	11.91±0.036c	12.01±0.061b	12.24±0.046a
	JACK	6.83±0.045h	6.98±0.010g	7.24±0.036f	8.17±0.026e	9.06±0.020d	9.21±0.036c	9.38±0.026b	9.51±0.010a
粗纤维含量 Crude fiber content /%	浙鲜豆3号 Zhexiandou 3	6.96±0.010h	7.11±0.017g	7.38±0.036f	7.69±0.036e	8.54±0.020d	8.71±0.026c	8.88±0.035b	8.96±0.032a
	黑农69 Heiiong 69	5.86±0.026h	5.94±0.036g	6.13±0.026f	6.38±0.017e	7.29±0.056d	7.57±0.044c	7.72±0.053b	7.89±0.056a
	翠扇大豆 Cuishandadlou	7.86±0.017h	7.92±0.026g	8.11±0.026f	8.34±0.036e	9.21±0.036d	9.45±0.026c	9.76±0.044b	9.92±0.044a
	CM60	5.61±0.010h	5.84±0.026g	5.99±0.026f	6.14±0.44e	7.01±0.017d	7.24±0.036b	7.14±0.036c	7.68±0.055a
	冀NF58 J: NF58	7.57±0.026h	7.68±0.056g	7.79±0.032f	7.94±0.036e	8.82±0.017d	8.96±0.010c	9.11±0.046b	9.28±0.036a
	Williams82	4.96±0.052h	5.13±0.010g	5.32±0.020f	5.67±0.026e	6.74±0.010d	6.91±0.030c	7.09±0.044b	7.21±0.026a
	晋豆21 Jindou 21	5.75±0.036h	5.87±0.026g	5.98±0.036f	6.09±0.072e	7.02±0.020d	7.21±0.026c	7.56±0.044b	7.76±0.044a
	中品661 Zhongpin 661	8.75±0.044h	8.89±0.046g	9.01±0.017f	9.16±0.036e	10.06±0.044d	10.21±0.026c	10.35±0.036b	10.57±0.046a
	绿75 Lyu 75	9.41±0.053h	9.56±0.036g	9.67±0.044f	9.79±0.046e	10.67±0.044d	10.78±0.026c	10.89±0.036b	11.06±0.044a
	JACK	6.94±0.036h	7.09±0.036g	7.24±0.036f	7.45±0.026e	8.36±0.010d	8.49±0.036c	8.57±0.026b	8.66±0.053a

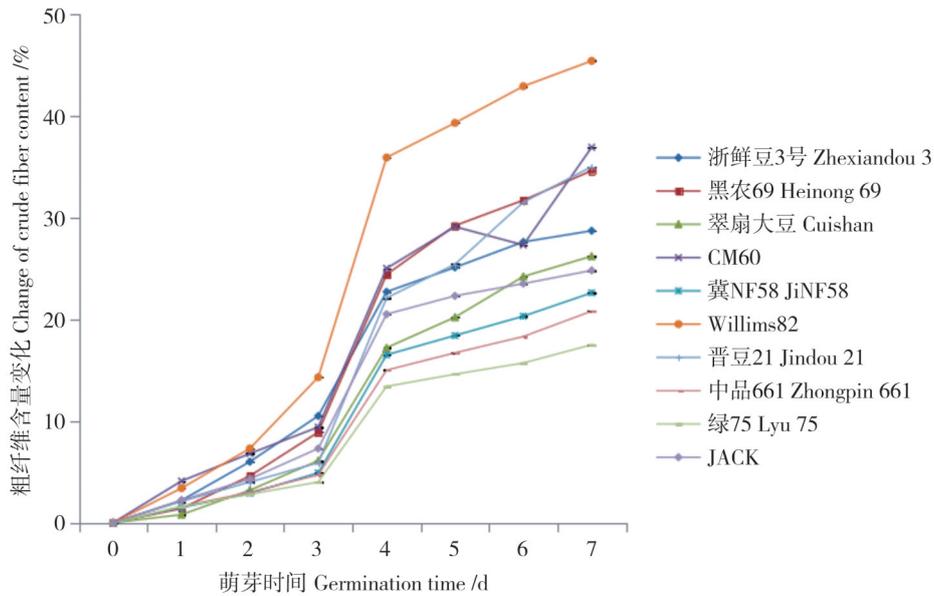


图2 10个大豆品种萌芽过程中粗纤维含量变化规律

Fig. 2 Change of crude fiber content in the germination of 10 soybean varieties

1), 其中绿75还原糖含量最高, 为9.65%。其次依次是浙鲜豆3号、JACK、Williams82、黑农69、翠扇大豆、中品661、晋豆21、CM60、冀NF58还原糖最低, 为2.57%。

萌芽大豆还原糖含量的变化规律见图3, 10个品种的大豆在7 d的萌芽过程中还原糖含量的变化规律基本一致, 与未萌发大豆相比, 萌发7 d时10个品种还原糖含量增加了26.86%~102.0%, 其中以绿75增幅最低, 冀NF58增幅最高。但萌发7 d后, 仍以绿75还原糖含量最高。且在7 d的萌芽过程中, 与未萌芽大豆还原糖含量相比, 差异均达到了显著水平($P < 0.05$)。在萌芽过程中, 10个大豆品种的还原糖含量随着萌芽时间的延长而稳步上升。一方面, 酶的活化是种子萌发过程中最明显的现象。因此, 淀粉酶在大豆种子萌发过程中被激活, 豆类淀粉发生降解, 引起淀粉含量下降, 淀粉被淀粉酶水解为葡萄糖, 为萌芽提供能量, 最终导致还原糖含量增加。另一方面可能是萌芽过程还原糖由其它营养成分转化而来。

2.4 各营养成分的相关性分析

对10个大豆品种蛋白质, 还原糖和粗纤维做相关性分析, 结果见表2。蛋白质和还原糖呈显著性负相关($P = -0.020 < 0.05$)。蛋白质和粗纤维含量呈极显著正相关($P = 0.000 < 0.01$), 还原糖与粗纤维含量呈极显著相关($P = 0.000 < 0.01$), 相关系数为0.444。

表2 不同大豆品种营养成分的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of nutrients in 10 soybean varieties

营养成分 Nutritional component	蛋白质 Protein	还原糖 Reducing sugar	粗纤维 Crude fiber
蛋白质 Protein	1		
还原糖 Reducing sugar	-0.025*	1	
粗纤维 Crude fibre	0.46**	0.444**	1

注: **在0.01水平(双尾)极显著相关, *在0.05水平(双尾)显著相关
Note: ** indicate significantly correlated at 0.01 level (double-tailed) and * indicate significantly correlated at 0.05 level (double-tailed)

3 讨论与结论

在适宜的温度和光照条件下, 将10个品种进行浸泡并萌发7 d, 每天称量部分萌发大豆, 测量萌发大豆的营养成分-蛋白质、粗纤维及还原糖的含量。结果显示, 10个品种的大豆在7 d的萌芽过程中发生了一系列生理、生化改变, 且营养成分的变化规律基本一致。随着萌芽时间的延长, 其蛋白质含量呈现先下降后上升的趋势, 这与汪洪涛等^[10]人的研究成果一致。10个大豆品种在萌芽过程中粗纤维含量呈现逐渐上升的趋势, 这与张丽丽^[21]的研究结果一致。10个大豆品种萌芽过程还原糖含量变化呈现平稳上升的规律, 这与汪洪涛等^[10]人的研究成果一致, 而与朱新荣等^[20]人的研究成果不一致, 可能是由于大豆品种不同或实验环境不同所导致的。10个大豆品种在萌芽过程中蛋白质、粗纤维、还原糖含量变化规律大致相同, 但是不同品种大豆所含

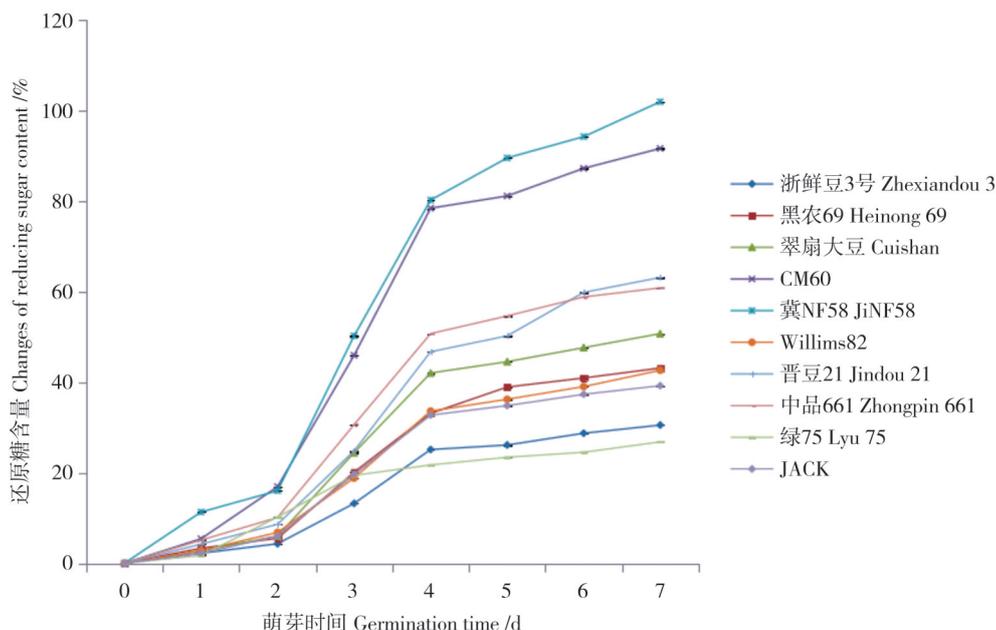


图3 10个大豆品种萌芽过程中还原糖含量变化规律

Fig. 3 Variation of reducing sugar content in 10 soybean varieties during germination

营养成分不同。

相关性分析显示,蛋白质和还原糖呈显著负相关,蛋白质和粗纤维含量呈极显著正相关,还原糖与粗纤维含量呈极显著正相关。这说明大豆萌芽期代谢旺盛,各种酶元被激活,不同物质之间相互转换,促进大豆萌芽,为其提供能量。不同萌芽时期大豆的营养成分既相互独立又具有一定的相关性。

综上所述,在实际的生产过程中在考虑价格的基础上建议选择蛋白质含量较高的翠扇大豆或粗纤维和还原糖含量较高的绿75进行萌芽。如翠扇大豆市售单价3.75元左右,绿75市售单价4.75元,冀豆单价3.40元左右,在条件允许下,可以根据需求适当进行选择。目前市售萌芽大豆大多为5d,本研究表明萌芽第7d与未萌芽大豆相比,蛋白质、还原糖、粗纤维含量最高且差异显著,此时加工利用营养价值较5d更丰富。这与吕乐福^[22]等研究结果认为的发芽后期即第5、6d蛋白质合成量达到较高值稍有出入,可能与不同大豆品种品质不同有关^[23]。本研究结果为以后豆芽的食品深加工和生产奠定了基础,也为萌芽大豆营养评价提供了依据。萌芽大豆的研究与开发,对于缓解在新冠肺炎疫情期间我国农业生产所面临的压力、提高我国大豆产品进一步加工的科技水平、改善我国人民食物的营养组分、丰富我国消费者的膳食生活有重要意义。

参考文献:

- [1] Hymowitz T, Newell C A. Taxonomy of the genus *Glycine*, domestication and uses of soybeans[J]. *Econ Bot*, 1981, 35(3): 272-288. DOI:10.1007/BF02859119.
- [2] 李倩倩. 四个中国大豆品种发芽过程营养成分消长变化规律[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [3] 王慧. 大豆品种及发芽时间对豆芽营养成分与产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [4] 马先红, 刘景圣, 陈翔宇, 等. 我国发芽粮食及食品应用研究最新进展[J]. *粮食与油脂*, 2015, 28(12): 1-3. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2015.12.001.
- [5] 马先红, 刘景圣, 陈翔宇. 粮食发芽富集GABA及食品开发研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(21): 198-200. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2015.21.051.
- [6] Sathe S K, Anine B C. Chemical form of selenium in soybean lection[J]. *Agric Food Chem*, 1992, 40(11): 2084-2091.
- [7] 张继浪, 骆承庠. 大豆在发芽过程中的化学成分和营养价值变化[J]. *中国乳品工业*, 1994, 22(2): 68-74.
- [8] 王薇, 朱庆珍. 黑豆不同发芽期VC变化规律研究[J]. *农产品加工·学刊*, 2011(10): 49-50, 56. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.10.012.
- [9] 王莘, 王艳梅, 闵卫红, 等. 大豆萌发期功能性营养成分测定与分析[J]. *中国粮油学报*, 2003, 18(4): 30-32. DOI:10.3321/j.issn: 1003-0174.2003.04.008.
- [10] 汪洪涛, 陈成, 余芳, 等. 3种大豆发芽过程中营养成分变化规律研究[J]. *食品与机械*, 2015, 31(1): 30-32, 163. DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2015.01.006.
- [11] 阮有志, 宋小楠, 吴隆坤, 等. 发芽大豆粉营养成分

- 分析及其在蛋糕中的应用[J]. 现代食品, 2019(8): 71-74, 84. DOI: 10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2019.08.021.
- [12] 王燕翔. 发芽大豆营养成分变化及其豆腐加工技术研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [13] Kim S, Kim W, Hwang I K. Optimization of the extraction and purification of oligosaccharides from defatted soybean meal[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2003, 38(3): 337-342. DOI:10.1046/j.1365-2621.2003.00679.x.
- [14] Dhakal K H, Jung K H, Chae J H, et al. Variation of unsaturated fatty acids in soybean sprout of high oleic acid accessions [J]. *Food Chem*, 2014, 164: 70-73. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.113.
- [15] Fordham J R, Wells C E, Chen L H. Sprouting of seeds and nutrient composition of seeds and sprouts[J]. *J Food Sci*, 1975, 40 (3) : 552-556. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1975.tb12526.x.
- [16] Sugawara M, Ito D, Akita M, et al. Kunitz soybean trypsin inhibitor is modified at its C-terminus by novel soybean thiol protease (protease T1) [J]. *Plant Prod Sci*, 2007, 10(3): 314-321. DOI:10.1626/pp.s.10.314.
- [17] 李娟, 张耀庭, 曾伟, 等. 应用考马斯亮蓝法测定总蛋白含量[J]. 中国生物制品学杂志, 2000, 13(2): 118-120. DOI:10.13200/j.cjb.2000.02.118.lj.024.
- [18] 高文军, 李卫红, 王喜明, 等. 3, 5-二硝基水杨酸法测定蔓菁中还原糖和总糖含量[J]. *中国药业*, 2020, 29 (9) : 113-116. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4931.2020.09.034.
- [19] 苗颖, 马莺. 大豆发芽过程中营养成分变化[J]. *粮食与油脂*, 2005, 18 (5) : 29-30. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9578.2005.05.009.
- [20] 朱新荣, 胡筱波, 潘思轶, 等. 大豆发芽期间多种营养成分变化的研究[J]. *中国酿造*, 2008, 27(12): 64-66.
- [21] 张丽丽. 大豆发芽过程中营养物质变化及发芽豆乳制备研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [22] 吕乐福, 李晓云, 徐宝钦, 等. 不同发芽日期大豆的主要营养品质特征及其分类评价[J]. *山东农业科学*, 2017, 49 (1) : 29-34. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2017.1.006.
- [23] 王慧, 马春梅, 龚振平. 大豆品种与豆芽营养品质及产量的关系研究[J]. *大豆科学*, 2014, 33(3): 374-378. DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.03.0374.

(责任编辑:王丽芳)