

大豆主要农艺性状与收获期籽粒田间霉变抗性的相关及通径分析

邓俊才¹, 雷 婷^{1,2}, 钟 蕾¹, 吴海军¹, 杨 峰¹, 刘卫国¹, 刘 江¹, 杨文钰¹

(1. 四川农业大学 农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130; 2. 四川省自贡市富顺县农牧业局, 四川 自贡 643200)

摘要:以 18 个西南大豆种质为研究材料,通过人工降雨室模拟夏播大豆收获期的连阴雨天气,在 R8 期处理大豆材料以诱发籽粒田间霉变,对大豆收获期籽粒田间霉变抗性与大豆主要农艺、品质性状进行相关及通径分析。结果表明:大豆收获期籽粒田间霉变抗性与种皮颜色、种脐颜色及结荚习性显著相关;与株高和主茎节数呈极显著正相关,与单株荚数和单株粒数呈显著正相关,与百粒重和脂肪相对含量呈显著负相关。通径分析结果表明:对霉变抗性影响较大的 3 个性状为单株荚数、主茎节数和单株粒数,株高、百粒重和脂肪相对含量亦间接通过单株荚数和主茎节数对霉变抗性产生显著影响。主茎节数多、株高较高、单株荚数多的深色小籽粒无限结荚大豆种质对收获期籽粒田间霉变的抗性较好;种皮种脐颜色、结荚习性、脂肪相对含量可作为筛选抗籽粒田间霉变大豆种质的重要参考指标。

关键词:大豆;田间霉变;农艺性状;品质性状;相关分析;通径分析

中图分类号:S565. 103 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2015. 05. 0837

The Correlation and Path Analysis Between the Main Agronomic Traits and the Resistance of Soybean to Seed Mildew in Field During Harvest Season

DENG Jun-cai¹, LEI Ting^{1,2}, ZHONG Lei¹, WU Hai-jun¹, YANG Feng¹, LIU Wei-guo¹, LIU Jiang¹, YANG Wen-yu¹

(1. Agronomy College of Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Chengdu 611130, China; 2. The Farming and Animal Husbandry Bureau of Fushun County, Zigong 643200, China)

Abstract: The soybean seed mildew happened during the harvest season could lead great yield loss and quality deterioration. To investigate the correlation and path coefficient between the resistance of soybean to seed mildew and the main agronomic traits, as well as the quality traits, 18 soybean germplasms were induced to mildew in the artificial rainfall chamber which could simulate the continuous rainfall weather during the harvest season of soybean. The results showed that the resistance was significantly correlated with the seed color, hilum color and podding habits, and had positive correlation with the plant height, stem nod number, pod number and seed number per plant, while had negative correlation with the 100-seed weight and fat content. The path coefficient analysis showed that the pod number, stem nod number and seed number per plant had the most important impacts on the resistance, in addition, the plant height, 100-seed weight and fat content also effected the mildew resistance indirectly through the pod number and stem nod number per plant. Hence, from this study we could draw the conclusion that the soybean germplasms with more stem nodes, higher plant height, more pods, smaller seed, deeper color of seed coat or hilum and indeterminate podding habit had stronger resistance to seed mildew, the color of seed coat and hilum, the podding habits and the fat content could be used as important traits to screen soybean germplasms with good resistance to seed mildew.

Keywords: Soybean; Field mildew; Agronomic traits; Quality traits; Correlation analysis; Path coefficient

大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 作为我国重要的粮油作物,含有丰富的蛋白质和脂肪,营养价值较高^[1]。但大豆蛋白质是一种亲水性物质,且高脂肪含量使大豆在呼吸氧化时能放出较多的水和热;同时,大豆种皮较薄,种孔较大,这都使大豆在高湿条件下极易吸水发生霉变^[2]。大豆霉变按发生时间不同,可分为收获前霉变、收获期霉变和收获后霉变。目前,对于大豆收获后霉变的报道较多,收获后的运输、仓储霉变会影响大豆的食用品质^[3]、饲用品质^[4]和种用品质^[5],而关于收获期田间霉变

的研究鲜有报道。

在我国西南地区,夏播大豆收获期正值秋季连阴雨易发时段,成熟大豆因受连阴雨影响收获延迟而在田间发生霉变,严重影响大豆的产量和品质。2008 年四川大豆主产区由于遭受秋季连阴雨危害,导致半数以上农户的大豆霉烂变质,造成了重大损失^[6]。收获期籽粒田间霉变已成为影响南方大豆生产的主要障碍。筛选抗霉变品种是防治大豆收获期籽粒田间霉变的有效方法,但目前关于大豆对收获期籽粒田间霉变抗性与农艺品质性状的关系

收稿日期:2015-02-01

基金项目:国家自然科学基金青年基金(31401329);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-PS19)。

第一作者简介:邓俊才(1990-),男,硕士,主要从事大豆生理及其调控技术研究。E-mail:dsldjc1990@sina.com。

通讯作者:刘江(1986-),男,博士,副教授,主要从事植物次生代谢及品质化学研究。E-mail:jiangliu@sicau.edu.cn;

杨文钰(1958-),男,博士,教授,主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究。E-mail:mssiyangwy@sicau.edu.cn。

尚不清楚,阻碍了抗霉变大豆品种的选育进程。因此,本研究以西南地区生产上常用的大豆种质为研究材料,通过人工降雨室模拟夏播大豆收获期的连阴雨天气以诱发大豆籽粒田间霉变,测定不同霉变抗性大豆种质的农艺及品质性状,对霉变抗性与农艺品质性状的相关性进行研究,以期为抗霉变大豆品种的筛选提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用盆栽方法在四川农业大学教学科研园区(四川雅安)进行,以西南地区大豆生产常用种质中筛选出的18个具有不同田间霉变抗性的大豆种质为试验材料^[7],采用盆栽方式,试验用盆钵直径33.5 cm,高31.0 cm,每盆装取自大田的风干土壤22.5 kg。大豆于6月中旬播种,分霉变处理和对照两组,3次重复,每次重复种植4盆,每盆3穴,每穴1株。前期管理同大田试验,至R8期^[8]将处理组搬入人工降雨室内,采用自动喷水设备模拟收获期连

阴雨天气(温度13~21℃,相对湿度85%~100%)以诱发籽粒霉变,对照组则搬入遮雨棚内防止淋雨霉变,处理10 d后收获考种,测定相关指标。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 大豆田间霉变抗性鉴定 处理组收获后脱粒,在光线充足的条件下确定每一颗籽粒的霉变级别,并计算单株霉变指数,根据霉变指数确定各材料的霉变抗感类型。籽粒霉变的分级标准参考大豆灰斑病病情分级标准,用比表面积法划分^[9]:0级,健康籽粒(图1A);1级,籽粒表面泛红或泛白,具有霉变初期的特征(图1B);2级,霉变面积 $\leq 1/4$ 粒表总面积(图1C);3级, $1/4 <$ 霉变面积 $\leq 1/2$ 粒表总面积(图1D);4级, $1/2 <$ 霉变面积 $\leq 3/4$ 粒表总面积(图1E);5级,霉变面积 $> 3/4$ 粒表总面积(图1F)。

$$\text{霉变指数} = \frac{\sum f_i s_i}{n s_{\max}} \times 100$$

其中 f_i 为各级霉变籽粒数, s_i 为相应霉变级数, n 为调查总粒数, s_{\max} 为籽粒最高霉变级数。霉变指数 ≤ 20 为抗霉变(R),霉变指数 > 20 为感霉变(S)。



A~F:0~5级霉变籽粒。

A-F:Grade 0 to 5 of mildew seed.

图1 霉变大豆籽粒分级

Fig. 1 Soybean mildew seed grading

1.2.2 农艺性状 对照组收获后室内调查种皮颜色、种脐颜色、绒毛色、结荚习性、株高、分枝高、底荚高、分枝数、主茎节数、茎粗、单株荚数、单株粒数、百粒重和单株产量等主要农艺性状。

1.2.3 品质性状 对照组籽粒风干后粉碎过60目

筛后用于大豆品质的测定。蛋白质含量采用全氮转化法测定^[10],脂肪含量采用索氏提取差重法测定^[11],可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[12]。

1.3 数据分析

使用SPSS 17.0软件进行相关及通径分析。

2 结果与分析

2.1 质量农艺性状与霉变抗性的相关性分析

将种皮颜色、种脐颜色等质量农艺性状与籽粒田间霉变抗感分离进行卡方检验($2 \times C$ 列联表的独立性检验)。从表 1 可知,18 个大豆种质中,抗霉变种质 4 个,占供试材料的 22.22%;感霉变种质 14

个,占供试材料的 77.78%。其中,14 个感霉变种质的种皮颜色均为浅色,种脐颜色多为褐色,绒毛色多为棕色,结荚习性多为亚有限型;4 个抗霉变种质的种皮颜色均为深色,种脐颜色多为黑色,结荚习性多为无限型。卡方检验结果表明,大豆霉变抗性与种皮颜色呈极显著相关,与种脐颜色和结荚习性呈显著相关,与绒毛色的相关性不显著。

表 1 大豆质量农艺性状与霉变抗性的相关性分析

Table 1 The correlation analysis between qualitative agronomic traits and mildew resistance

质量农艺性状 Qualitative agronomic traits		抗 R	感 S	X^2
种皮颜色 Seed coat color	浅色 Tint	0	14	18.00 **
	深色 Dark	4	0	
种脐颜色 Hilum color	浅褐 Light brown	0	8	8.84 *
	深褐 Dark brown	1	5	
	黑 Black	3	1	
绒毛色 Villus color	棕 Brown	3	11	0.02
	灰 White	1	3	
结荚习性 Podding habits	有限 Determinate	0	2	8.36 *
	亚有限 Semideterminate	1	11	
	无限 Indeterminate	3	1	

$df = 1, X_{0.05}^2 = 3.84, X_{0.01}^2 = 6.63; df = 2, X_{0.05}^2 = 5.99, X_{0.01}^2 = 9.21.$

* 和 ** 分别代表 0.05 和 0.01 水平显著相关。下同。

* and ** represent the significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

2.2 数量农艺性状及品质性状与霉变抗性的相关性分析

如表 2 所示,供试大豆材料各性状均表现出较大的差异,除茎粗、蛋白质相对含量和脂肪相对含量外,其余各性状的变异系数均在 10% 以上,表明所用试验材料各性状变异范围广,遗传背景差异大,具有较大的选择空间。各性状与霉变指数的相关性分析结果表明,株高与霉变指数的相关性程度最高,相关系数达到 -0.64 ,其次为主茎节数和脂肪相对含量,茎粗与霉变指数的相关性程度最低,相关系数仅为 0.06 。显著性分析结果表明,霉变指数与株高和主茎节数呈极显著负相关,与单株荚数和单株粒数呈显著负相关,与百粒重和脂肪相对含量呈显著正相关,与其余各性状的相关性则未达到显著水平。表明主茎节数越多,株高越高,单株荚数和粒数越多,籽粒越小的大豆种质抗田间霉变能力越强,而脂肪含量高的大豆种质抗田间霉变的能力相对较弱。

2.3 数量农艺性状与品质性状对霉变指数的通径分析

为进一步探究各性状对霉变指数的直接作用和间接作用,在相关性分析的基础上进行了通径分

析,由表 3 可知,对霉变指数直接影响较大的性状主要为单株荚数(-1.6409) > 主茎节数(-0.9473) > 单株粒数(0.8635),这 3 个性状与霉变指数的表型相关均达到显著水平及以上。其中,单株荚数和主茎节数对霉变指数的直接影响与表型相关一致,而单株粒数对霉变指数的直接影响与表型相关相反,这主要是因为单株粒数通过单株荚数(-1.5721)和主茎节数(-0.2850)对霉变指数的间接负效应较大,掩盖了其对霉变指数的直接正效应(0.8635)。同时,与霉变指数有显著相关性的百粒重和脂肪相对含量其对霉变指数的直接效应也均与表型相关相反,这是因为百粒重对霉变指数的直接负效应(-0.4518)被主茎节数(0.4087)和单株荚数(1.3969)的间接正效应所掩盖,脂肪相对含量对霉变指数的直接负效应(-0.1209)被主茎节数(0.6785)和单株荚数(0.2718)的间接正效应所掩盖,导致其与霉变指数的表型相关相反。另外,株高对霉变指数的直接效应较小(0.0875),却与霉变指数的表型相关程度最高,主要原因是株高通过主茎节数(-0.8335)和单株粒数(-0.6201)对霉变指数的间接负效应较大,使其与霉变指数的表型相关程度最高。

表2 大豆数量农艺性状与品质性状的差异分析及与霉变抗性的相关性分析

Table 2 The differential analysis of quantitative agronomic and quality traits and correlation analysis with mildew resistance

性状 Trait	平均值 Mean	变异幅度 Range	变异系数 Variation/%	与霉变指数的相关系数 Correlation
株高 Plant height/cm	71.68	32.74 ~ 107.28	24.69	-0.64 **
分枝高 Height of branch/cm	9.51	4.09 ~ 15.50	34.60	0.43
底荚高 Height of pod/cm	21.92	9.91 ~ 32.15	26.78	-0.08
分枝数 Branch number	4.34	1.00 ~ 8.20	36.87	-0.15
主茎节数 Stem nod number	20.50	14.60 ~ 25.73	16.29	-0.59 **
茎粗 Stem diameter/cm	0.84	0.75 ~ 0.98	8.33	0.06
单株荚数 Pod number per plant	57.21	38.00 ~ 84.94	29.65	-0.51 *
单株粒数 Seed number per plant	96.43	60.47 ~ 148.06	33.04	-0.47 *
百粒重 100-seed weight/g	16.74	10.14 ~ 26.68	28.55	0.46 *
单株产量 Yield per plant/g	14.39	11.90 ~ 17.34	10.84	0.37
蛋白质相对含量 Relative content of protein/%	42.03	38.38 ~ 46.22	4.40	-0.11
脂肪相对含量 Relative content of fat/%	21.03	18.81 ~ 22.43	5.18	0.56 *
可溶性糖相对含量 Relative content of soluble sugar/%	9.74	7.89 ~ 11.30	10.78	0.21
霉变指数 Mildew index	35.96	1.61 ~ 53.67	52.47	1.00

表3 大豆各数量农艺性状与品质性状对霉变指数的通径分析

Table 3 The path coefficient analysis between quantitative agronomic and quality traits with mildew index

性状 Trait	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
x_1	0.0875	-0.0752	0.0444	0.1345	-0.8335	-0.0029	-0.6201	0.3932	0.2050	-0.0742	0.0192	0.0810	0.0026
x_2	-0.0289	0.2281	0.0219	-0.2205	0.4871	-0.0073	0.5674	-0.3735	-0.2901	0.0786	0.0017	-0.0550	0.0191
x_3	0.0508	0.0653	0.0765	0.0246	-0.4504	-0.0016	0.3718	-0.1206	-0.1190	-0.0102	0.0046	0.0215	0.0064
x_4	0.0274	-0.1172	0.0044	0.4289	-0.4743	-0.0139	-0.5687	0.3446	0.2676	-0.0746	0.0378	0.0181	-0.0306
x_5	0.0770	-0.1173	0.0364	0.2148	-0.9473	0.0146	-0.3145	0.2598	0.1949	-0.1009	-0.0023	0.0866	0.0061
x_6	0.0052	-0.0093	-0.0079	-0.0098	0.1867	0.0146	-1.6409	-0.2765	0.0954	0.0160	0.0442	0.0170	-0.0010
x_7	0.0331	-0.0789	-0.0173	0.1487	-0.1815	-0.0225	-1.6409	0.8273	0.3847	-0.0168	0.0548	0.0200	-0.0168
x_8	0.0399	-0.0986	-0.0107	0.1712	-0.2850	-0.0148	-1.5721	0.8635	0.4039	-0.0253	0.0500	0.0285	-0.0238
x_9	-0.0397	0.1464	0.0202	-0.2540	0.4087	0.0074	1.3969	-0.7719	-0.4518	0.0733	-0.0577	-0.0426	0.0268
x_{10}	-0.0428	0.1180	-0.0051	-0.2109	0.6292	-0.0162	0.1815	-0.1440	-0.2181	0.1518	-0.0146	-0.0539	-0.0076
x_{11}	-0.0088	-0.0020	-0.0018	-0.0846	-0.0116	-0.0099	0.4688	-0.2248	-0.1358	0.0115	-0.1919	0.0398	0.0462
x_{12}	-0.0587	0.1037	-0.0136	-0.0643	0.6785	0.0008	0.2718	-0.2033	-0.1594	0.0677	0.0632	-0.1209	-0.0059
x_{13}	-0.0025	-0.0480	-0.0054	0.1449	0.0639	-0.0099	-0.3050	0.2264	0.1338	0.0127	0.0978	-0.0079	-0.0906

x_1 :株高; x_2 :分枝高; x_3 :底荚高; x_4 :分枝数; x_5 :主茎节数; x_6 :茎粗; x_7 :单株荚数; x_8 :单株粒数; x_9 :百粒重; x_{10} :单株产量; x_{11} :蛋白质相对含量; x_{12} :脂肪相对含量; x_{13} :可溶性糖相对含量。对角线上的数值为直接通径系数,其它为间接通径系数。

x_1 : Plant height; x_2 : Height of branch; x_3 : Height of bottom pod; x_4 : Branch number; x_5 : Stem nod number; x_6 : Stem diameter; x_7 : Pod number per plant; x_8 : Seed number per plant; x_9 : 100-seed weight; x_{10} : Yield per plant; x_{11} : Relative content of protein; x_{12} : Relative content of fat; x_{13} : Relative content of soluble sugar. Values of diagonal are direct path coefficients, others are indirect path coefficients.

3 结论与讨论

3.1 种皮种脐颜色是筛选抗霉变大豆种质的重要指标

大豆种皮颜色在遗传进化过程中由原始的黑色逐渐演变成现在的黄、绿、黑、褐、双色等丰富的颜色^[13],有研究指出,大豆抗病虫害的基因与控制深色种皮的基因紧密相连^[14],深色种皮、种脐常作为鉴定大豆抗病虫害能力的重要表现性状^[15],这也可能与深色大豆种皮中含有的花色苷、类黄酮等抗逆生物活性成分有关^[16]。本研究中,深色种皮和种脐大豆种质大多表现出良好的抗霉变特性,可将其作为抗田间霉变大豆品种筛选的重要表现质量性状加以利用。

3.2 无限结荚大豆种质具有更强的抗籽粒田间霉变能力

结荚习性作为大豆的主要农艺性状之一,与大豆的抗病虫害能力及其他农艺性状的表现密切相关。徐冉等^[17]研究发现,不同结荚习性的品种抗烟粉虱的能力不同,无限结荚习性种质的抗性最强。胡国玉等^[18]研究表明,大豆的株高和单株荚数等性状的平均值随无限-亚有限-有限结荚习性递减。杜志强^[19]的研究也认为,无限结荚大豆的株高、主茎节数、单株荚数和单株粒数等性状的平均值要高于亚有限大豆。本研究中,无限结荚大豆种质亦具有较高的株高,较多的主茎节数、单株荚数和单株粒数,而大豆籽粒田间霉变抗性与结荚习性显著相关,无限结荚习性种质大多具有较强的抗田间霉变能力;同时,相关性分析也表明,籽粒田间霉变抗性与株高、主茎节数、单株荚数和单株粒数具有显著正相关关系。可见,结荚习性与株高等性状协同表达,表征了大豆对收获期籽粒田间霉变的抗性特征,结荚习性可作为筛选抗籽粒田间霉变大豆种质的参考指标。

3.3 脂肪是导致大豆田间霉变发生的主要品质诱因

大豆因高蛋白和高脂肪含量而成为重要的粮油作物,丰富的营养物质使大豆极易遭受病菌侵害而发生霉变。有研究表明,霉变使大豆主要营养成分的含量改变不显著,但却使粗脂肪的品质明显降低^[20],可见脂肪在霉变发生过程中起着重要作用。本研究结果与以上报道相符:蛋白质含量虽与霉变抗性呈正相关,但相关性不显著,而脂肪含量则与霉变抗性呈显著负相关,这可能是因为脂肪作为高能量物质能为霉菌的生长繁殖提供能量,脂肪含量越高越有利于霉菌的生长,最终使脂肪成为导致大豆籽粒田间霉变发生的主要品质诱因。

南方作为我国大豆起源中心之一^[21],常年高湿

气候使大豆种质资源在遗传进化过程中逐渐形成了对籽粒田间霉变的抗性。本研究中,主茎节数多、株高较高,单株荚数和粒数多的深色小籽粒无限结荚大豆种质具有较好的抗田间霉变特性,因此在抗病高产品种的选育过程中,可将这些性状作为初步选择指标加以利用,再结合标记辅助选择,实现综合性状协调,提高大豆抗病育种效率。

参考文献

- [1] 张海波. 浅析大豆的营养价值及其加工利用[J]. 山西农业科学, 2009, 37(5): 73-75. (Zhang H B. Preliminary review on the nutritional value of soybean and its processing and utilization[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2009, 37(5): 73-75.)
- [2] 王佳, 邵立红. 大豆的储藏应用技术[J]. 大豆通报, 2004(5): 21-22. (Wang J, Shao L H. The application technology of soybean storage[J]. Soybean Bulletin, 2004(5): 21-22.)
- [3] 刘玉兰, 汪学德, 武莉, 等. 霉变大豆对毛油质量及精炼效果的影响[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 82-88. (Liu Y L, Wang X D, Wu L, et al. The influence of mildew soybean on crude oil quality and oil refining effect[J]. Journal of Chinese Cereals and Oil Association, 2005, 20(4): 82-88.)
- [4] 刘玉兰, 李燕, 汪学德. 霉变大豆对豆粕质量的影响[J]. 中国油脂, 2006, 31(12): 17-20. (Liu Y L, Li Y, Wang X D. Influence of mildew soybean on the quality of soybean meal[J]. China Oil and Fats, 2006, 31(12): 17-20.)
- [5] Wrather J A, Shannon J G, Stevens W E, et al. Soybean cultivar and fungicide effects on *Phomopsis* sp. seed infection[J]. Plant Disease, 2004, 88: 721-723.
- [6] 张明荣, 吴海英, 吴迅, 等. 四川大豆主产区产业现状、存在的问题及发展对策[J]. 大豆科技, 2009(5): 6-8. (Zhang M R, Wu H Y, Wu X, et al. The present situation, existing problems and development strategies of soybean industry in Sichuan major soybean producing area[J]. Soybean Science & Technology, 2009(5): 6-8.)
- [7] 邓俊才, 刘江, 雷婷, 等. 收获期籽粒田间霉变对大豆产量和品质的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(1): 77-82. (Deng J C, Liu J, Lei T, et al. Effect of seed mildew in field on yield and quality of soybean during harvest season[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2015, 37(1): 77-82.)
- [8] Fehr W R, Caviness C E, Burmood D T, et al. Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* (L.) Merrill[J]. Crop Science, 1971, 11(6): 929-931.
- [9] 李海燕, 刘惕若, 甄鸿杰. 灰斑病所致大豆品质与产量损失的研究[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(3): 66-69. (Li H Y, Liu T R, Zhen H J. Studies on quality and yield loss caused by *Cercospora sojina* Hara in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2005, 27(3): 66-69.)
- [10] 张英利, 许安民, 尚浩博, 等. AA3型连续流动分析仪测定土壤和植物全氮的方法研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(10): 128-132. (Zhang Y L, Xu A M, Shang H B, et al. Determination study of total nitrogen in soil and plant by continuous flow analytical system[J]. Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forest(Natural Science Edition), 2006, 34(10): 128-132.)
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 241-242. (Wang X K. Principle and technology of plant physiology and biochemical experiments[M]. 2nd

- ed. Beijing: Higher Education Press, 2006:241-242.)
- [12] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 四川:四川科学技术出版社,2003: 81-83. (Xiong Q E. Plant physiology experiment[M]. Sichuan: Sichuan Science and Technology Press, 2003:81-83.)
- [13] 宋健,郭勇,于丽杰,等. 大豆种皮色相关基因研究进展[J]. 遗传,2012, 34(6): 687-694. (Song J, Guo Y, Yu L J, et al. Progress in genes related to seed-coat color in soybean[J]. Hereditas, 2012, 34(6): 687-694.)
- [14] Anand S C. Soybean plant introductions with resistance to race 4 or race 5 of soybean cyst nematode[J]. Crop Science, 1988, 29: 1181-1184.
- [15] 王梓贞,韩英鹏,滕卫丽,等. 大豆胞囊线虫非小种特异性抗性品种的抗性评价与农艺性状相关分析[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 647-650. (Wang Z Z, Han Y P, Teng W L, et al. Multiple SCN races resistance in soybean related to several agronomic traits[J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 647-650.)
- [16] 徐金瑞,张名位,刘兴华,等. 黑大豆种质抗氧化能力及其与总酚和花色苷含量的关系[J]. 中国农业科学,2006, 39(8): 1545-1552. (Xu J R, Zhang M W, Liu X H, et al. Correlation between antioxidation, and content of total phenolics and anthocyanin in black soybean accessions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(8): 1545-1552.)
- [17] 徐冉,李伟,张礼凤,等. 大豆抗烟粉虱(*Bemisia tabaci Gennadius*)与农艺品质性状的关系[J]. 中国农业科学,2009, 42(4): 1252-1257. (Xu R, Li W, Zhang F L, et al. Relationship between resistance to whitefly (*Bemisia tabaci Gennadius*) and agronomic and quality traits of soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(4): 1252-1257.)
- [18] 胡国玉,李杰坤,黄志平,等. 不同结荚习性夏大豆种质的农艺表现及其与产量的相关分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(2): 417-422. (Hu G Y, Li J K, Huang Z P, et al. Agronomic characters and their correlations with yield in summer soybean varieties of different growth habit[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(2): 417-422.)
- [19] 杜志强. 不同结荚习性抗线大豆农艺性状与产量相关研究[J]. 黑龙江农业科学,2014(4): 4-7. (Du Z Q. correlations analysis between agronomic trait and yield of resistant varieties for soybean cyst nematode with different podding habits[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2014(4): 4-7.)
- [20] 李晨阳,张振山,刘玉兰. ⁶⁰Co- γ 辐照对霉变大豆中粗脂肪特性影响的研究[J]. 食品工业,2014, 35(6): 15-19. (Li C Y, Zhang Z S, Liu Y L. effect of ⁶⁰Co- γ irradiation on the oil properties of mildew soybean[J]. The Food Industry, 2014, 35(6): 15-19.)
- [21] 田清震,盖钧镒. 大豆起源与进化研究进展[J]. 大豆科学, 2001, 20(1): 54-59. (Tian Q Z, Gai J Y. A review on the research of soybean origination and evolution[J]. Soybean Science, 2001, 20(1): 54-59.)

(上接第 836 页)

3 结论

通过透射电子显微镜观察发现,绿豆芽里的生理活动要比黄豆芽活跃。绿豆芽中的蛋白质和脂质的水解速度要比黄豆芽快。随着发芽天数的延长,蛋白质贮存液泡渐渐聚合增大形成一个占据细胞大部分空间的大液泡,并且内容物越来越少;油体数目越来越少,并且有少部分油体会发生聚合增大;油体显示出接触液泡的趋势,并且接触液泡的油体显示出更加容易被消化利用的趋势。这可能与液泡里含有水解油体蛋白的酶有关。

参考文献

- [1] Herman E M. Immunogold-localization and synthesis of an oil body membrane protein in developing soybean seeds[J]. Planta, 1987, 172:336-345.
- [2] He F, Huang F, Wilson K A, et al. Protein storage vacuole acidification as a control of storage protein mobilization in soybeans[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58:1059-1070.
- [3] Tzen J T C, Huang A H C. Surface structure and properties of plant seed oil bodies[J]. The Journal of Cell Biology, 1992, 117: 327-335.
- [4] Tzen J T C, Cao Y Z, Laurent P, et al. Lipids, proteins, and structure of seed oil bodies from diverse species[J]. Plant Physiology, 1993, 101: 267-276.
- [5] Iwanaga D, Gray D A, Fisk I D, et al. Extraction and characterization of oil bodies from soy beans: A natural source of pre-emulsified soybean oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 8711-8716.
- [6] Fisk I D, Gray D A. Soybean (*Glycine max*) oil bodies and their associated phytochemicals[J]. Journal of Food Science, 2011, 76: 1349-1354.
- [7] Gallier S, Gordon K C, Singh H. Chemical and structural characterisation of almond oil bodies and bovine milk fat globules[J]. Food Chemistry, 2012, 132: 1996-2006.
- [8] Shi H, Nam P K, Ma Y. Comprehensive profiling of isoflavones, phytosterols, tocopherols, minerals, crude protein, lipid, and sugar during soybean (*Glycine max*) germination[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 4970-4976.
- [9] 姚占静,郭睿,李宁. 大豆与大豆芽中异黄酮提取工艺研究[J]. 大豆科学,2008,27(2):357-360. (Yao Z J, Guo R, Li N. Research on extraction of isoflavones from soybean and sprouts[J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 357-360.)
- [10] Krishnan H B. Preparative procedures markedly influence the appearance and structural integrity of protein storage vacuoles in soybean seeds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56: 2907-2912.
- [11] Chen Y, Zhao L, Cao Y, et al. Oleosins (24 and 18 kDa) are hydrolyzed not only in extracted soybean oil bodies but also in soybean germination[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 956-965.
- [12] Kalinski A, Melroy D L, Dwivedi R S, et al. A soybean vacuolar protein (P34) related to thiol proteases is synthesized as a glycoprotein precursor during seed maturation[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1992, 267: 12068-12076.
- [13] Matsui K, Hijiya K, Tabuchi Y, et al. Cucumber cotyledon lipoxigenase during postgerminative growth. Its expression and action on lipid bodies[J]. Plant Physiology, 1999, 119: 1279-1287.