

# 产地及籽粒外观品质对芝麻木酚素含量的影响

高锦鸿<sup>1</sup>,梅鸿猷<sup>2</sup>,刘艳阳<sup>2</sup>,杜振伟<sup>2</sup>,汪学德<sup>1</sup>,郑永战<sup>2</sup>

(1. 河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450001;2. 河南省农业科学院 芝麻研究中心,河南 郑州 450008)

**摘要:**为了研究产地及籽粒外观对芝麻木酚素含量的影响,为芝麻品质遗传改良及高木酚素芝麻商品生产提供理论依据。从3 800余份芝麻种质资源中选取212份代表性资源,分别在4个不同生态区种植,测定各样品芝麻素和芝麻林素含量;探讨芝麻不同产地、千粒质量及种皮颜色与芝麻素和芝麻林素含量的关系。结果表明,芝麻素和芝麻林素各试点含量均值分别为3.52,3.61,3.11,2.43,1.94,1.93,1.78,1.62 mg/g;芝麻木酚素含量存在随纬度升高而增加的趋势;芝麻籽粒颜色L值与芝麻素含量极显著正相关( $r=0.2966, a=0.01$ ),与芝麻林素含量相关不显著;千粒质量与芝麻素含量极显著负相关( $r=-0.2603, a=0.01$ ),与芝麻林素含量极显著正相关( $r=0.2279, a=0.01$ )。芝麻素和芝麻林素含量随产地纬度的升高而增加;随着种皮颜色变深,芝麻素含量逐渐降低;随着千粒质量增加,芝麻素含量逐渐降低,芝麻林素含量不断增加。

**关键词:**芝麻;芝麻素;芝麻林素;产地;千粒质量;粒色

**中图分类号:**S565.03 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)02-0191-07

**doi:**10.7668/hbxb.2015.02.033

## Effects of Producing Area and Appearance Quality on Lignan Contents of Sesame Seeds

GAO Jin-hong<sup>1</sup>, MEI Hong-xian<sup>2</sup>, LIU Yan-yang<sup>2</sup>, DU Zhen-wei<sup>2</sup>,  
WANG Xue-de<sup>1</sup>, ZHENG Yong-zhan<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Sesame Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the effects of producing area and appearance quality on lignan contents of sesame seeds to provide a theoretical basis for genetic improvement of sesame seed quality and producing sesame production with high lignan content. Two hundred and twelve typical sesame cultivars/lines, chosen from more than 3 800 accessions of sesame germplasm resources, were simultaneously grown in 4 different ecological zones. And the sesamin, sesamol content, kilo-seed weight and seed-coat color of the 212 seed samples yielded in each area were measured. And the relationships between sesamin and sesamol content with producing area, kilo-seed weight and seed coat color were analyzed. The average contents of sesamin and sesamol of four producing areas were 3.52, 3.61, 3.11, 2.43, 1.94, 1.93, 1.78, 1.62 mg/g, respectively. There exists the tendency of increasing lignan contents of sesame seeds with the rising of yielding area latitudes. Furthermore, an extremely significantly positive correlation was found between seed-coat color L value and sesamin contents ( $r=0.2966, a=0.01$ ) and no significant correlation was found between seed-coat color L value and sesamol; an extremely significantly negative correlation was found between kilo-seed weight and sesamin contents ( $r=-0.2603, a=0.01$ ) and a significantly positive correlation was found between kilo-seed weight and sesamol contents ( $r=0.2279, a=0.01$ ). The sesamin and sesamol contents rose gradually with the increase of yielding area latitudes. With the darkening of the seed-coat color from white to black, sesamin content was gradually increased. With the increasing of kilo-seed

收稿日期:2015-02-12

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-15);国家成果转化资金项目(2012GB2D000277);河南省财政预算项目(20137924)

作者简介:高锦鸿(1988-),女,河南临颍人,硕士,主要从事油脂与植物蛋白工程研究。

通讯作者:汪学德(1962-),男,河南罗山人,教授,博士,主要从事油脂与植物蛋白工程研究。

郑永战(1963-),男,河南宝丰人,研究员,博士,主要从事芝麻种质资源研究。

weight, the sesamin content was gradually decreased, and the sesamol content gradually increased.

**Key words:** Sesame; Sesamin; Sesamol; Producing area; Kilo-seed weight; Seed-coat color

芝麻木酚素 (Lignans) 是芝麻特有的一类内源抗氧化物质<sup>[1]</sup>。芝麻木酚素有多种组分, 芝麻种子中主要是芝麻素 (Sesamin) 和芝麻林素 (又称芝麻酚林, Sesamol), 制油过程中则形成芝麻酚 (Sesamol)、芝麻素酚 (Sesaminol)、芝麻林素酚 (Sesamolilol) 以及它们的异构体、低聚物等, 为脂溶性组分; 木酚素类也以配糖体形式存在, 为水溶性组分<sup>[2]</sup>。近年来, 芝麻木酚素类物质因为其优越的抗氧化性和潜在的医疗保健功能如促进乙醇代谢、抗高血压、降血糖、抗癌等, 在世界范围内引起广泛的关注<sup>[3-4]</sup>。但是, 国内外对芝麻木酚素的遗传育种研究目前主要集中在对其组分的测定上<sup>[5-13]</sup>。Lee 等<sup>[6]</sup>测定了 116 份芝麻品种资源, 芝麻素含量 0.04% ~ 0.68%, 芝麻林素平均 0.27%, 变幅 0.08% ~ 0.68%。Kim 等<sup>[9]</sup>分析了 403 份韩国种质, 芝麻素平均 0.22%, 变幅 0.04% ~ 0.51%; 芝麻林素平均 0.17%, 变幅 0.05% ~ 0.44%。Rangkadilok 等<sup>[10]</sup>检测了 58 份泰国资源, 芝麻素平均为 0.16%, 变幅 0 ~ 0.72%; 芝麻林素含量平均 0.06%, 变幅 0 ~ 0.23%。Wang 等<sup>[11]</sup>分析了 215 份中国芝麻资源, 芝麻素平均 0.52%, 变幅 0.09% ~ 1.11%; 芝麻林素平均 0.33%, 变幅 0.09% ~ 0.70%。梅鸿猷等<sup>[12]</sup>对 209 份中国芝麻资源进行测定, 芝麻素平均 0.359%, 变幅 0.132% ~ 0.50%。总的来说, 芝麻种子中木酚素含量平均不足 1%, 但不同品种资源中变异较大。芝麻木酚素含量高低与木酚素提取成本、加工产品品质紧密相关, 逐渐成为芝麻商品生产、加工及贸易中品质评价的重要指标。但产地生态条件及籽粒大小、种皮颜色等外观品质性状与芝麻木酚素含量的关系仍不清楚。本研究拟从河南省农业科学院芝麻研究中心已鉴定评价的 3 800 余份种质资源中按不同生态类型选取代表性材料 212 份, 分别在海南三亚、湖北襄阳、安徽阜阳和河南周口 4 个地区种植, 探讨产地、籽粒外观性状与芝麻木酚素含量的关系, 以期为高木酚素资源筛选和新品种选育提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验时间、地点

本研究田间试验于 2012 年在河南周口、安徽阜阳、湖北襄阳和海南三亚进行, 室内试验在河南工业

大学芝麻加工技术研究实验室进行。

### 1.2 试验材料及田间种植

从河南省农业科学院芝麻研究中心种质资源库中, 按地理来源及生态类型抽取具有代表性的材料 212 份 (表 1), 其中白芝麻 146 份、黄芝麻 48 份、褐芝麻 14 份、黑芝麻 4 份。2012 年同时在河南周口 (N33.63°, E114.64°)、安徽阜阳 (N32.90°, E115.81°)、湖北襄阳 (N32.06°, E112.12°) 和海南三亚 (N18.24°, E109.49°) 这 4 个不同地区种植上述 212 份种质资源, 田间试验采用单行区, 2 次重复, 随机区组设计, 田间管理同大田; 成熟后, 每小区收获 10 株, 为降低木酚素测定费用, 将各材料两重复收获的种子等量混合、低温保存备用。

### 1.3 试验方法

1.3.1 芝麻素和芝麻林素含量测定 从各材料混合样中取 1 000 粒芝麻测定千粒质量, 重复 3 次; 为对籽粒颜色进行准确度量, 通过 HunterLab ColorFlex EZ 颜色分析仪扫描籽粒颜色, 获得 L 值, L 值可为 0 ~ 100, 代表从黑到白, 纯黑为 0, 纯白为 100。芝麻素和芝麻林素含量的测定参照中华人民共和国农业部标准《NY/T 1595-2008》, 采用高效液相色谱法 (HPLC) 进行, 并进行适当改进, 具体操作步骤如下: ①样品前处理: 分析天平精确称取芝麻籽粒约 0.200 0 g, 加入石英砂约 0.500 0 g, 研钵研磨呈粉末状, 无损转移至 10 mL 容量瓶中, 残留用提取液 (80% 乙醇) 冲洗干净, 移至容量瓶, 超声波 15 min, 定容至 10 mL。2 个 0.45 μm 双重过滤后, 用高效液相色谱仪进行检测, 进样 10 μL; ②高效液相色谱条件: Kromasil 色谱柱 (C18, 150 mm × 4.6 mm, 5 μm), 柱温 30 °C, 检测波长 290 nm, 流动相为 V (甲醇): V (水) = 70:30, 总流速 0.8 mL/min<sup>[14]</sup>。测得木酚素含量全部换算为干基含量后用于数据分析。

1.3.2 精密仪器和药品规格 美国 Waters 公司生产的 2695 型高效液相色谱仪及 2489 型紫外检测器; 瑞士梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司生产的 AL-204 型电子天平。芝麻素分析标准品 (纯度 ≥ 98%); 芝麻林素分析标准品 (纯度 ≥ 98%); 无水乙醇 (分析纯)、甲醇 (色谱纯)。

1.3.3 数据统计分析 采用 SAS 8.0 (SAS Institute 1999) 及其 PROC GLM 模型进行描述统计分析和独立样本测验, 利用 Excel 2000 绘图。

表 1 用于木酚素测定的 212 份芝麻种质资源及其收集地地理位置

Tab. 1 212 accessions of sesame germplasm resources and their geographical locations of collection

编号 Code	资源名称 Name	经度/° Longitude( E)	纬度/° Latitude( N)	编号 Code	资源名称 Name	经度/° Longitude( E)	纬度/° Latitude( N)
1	河南平舆射桥柳条青	114.62	32.96	107	郑芝 8919	114.62	32.96
2	河南新野津湾念三	112.36	32.52	108	97 群选 19-2 97	114.62	32.96
3	河南南乐宛村小八股	115.20	36.06	109	郑芝 99S143-1	114.62	32.96
4	河南禹县晏窑芝麻	113.48	34.14	110	韩国	126.98	37.57
5	河南永城龙岗青瞎子	116.45	33.92	111	韩国	126.98	37.57
6	河南杞县裴村店歪嘴白	114.78	34.55	112	中油所 72-1502	114.31	30.59
7	河南清丰库韩八大杈	115.10	35.89	113	中油所 86-1	114.31	30.59
8	河南西峡黄狮白芝麻	111.48	33.30	114	日本金芝麻	139.69	35.69
9	河南内乡张集乱发头	111.85	33.04	115	92R011	113.63	34.75
10	河南叶县韩庄寺黄红芝麻	113.36	33.63	116	92D028	113.63	34.75
11	河南林县和洞黄芝麻	114.13	36.13	117	河南社旗韩庄 76-28	112.95	33.06
12	河南洛阳豫西平蒯芝麻	112.45	34.61	118	河北新乐芝麻	114.68	38.34
13	河南信阳八大杈	114.09	32.15	119	河北束鹿芝麻	115.46	38.87
14	河南周口柳条青	114.70	33.63	120	河北安次平顶黄	116.67	39.52
15	河南尉氏门楼仁柳条青	114.19	34.41	121	河北故城一窝猴	115.97	37.35
16	河南汲县柳条青	114.06	35.39	122	山东东阿芝麻	116.25	36.33
17	河南长垣范屯柳条青红芝麻	114.67	35.17	123	山东阳谷大青楷	115.79	36.11
18	河南开封白芝麻	114.31	34.80	124	山东禹城民芝麻	116.63	36.92
19	河南兰考香布袋	114.82	34.82	125	山东微山裂口黄	117.02	36.67
20	河南淇县白芝麻	114.20	35.61	126	山东冠县红芝麻	E115.44	36.48
21	河南郑县长桥白芝麻	113.21	33.97	127	郑芝 98N09	114.62	32.96
22	河南睢县五股杈	115.07	34.45	128	安徽临泉庙岔小籽白	115.26	33.04
23	河南泌阳吕庄白糙	113.33	32.72	129	豫芝 8 号	114.62	32.96
24	河南叶县韩庄寺白芝麻	113.36	33.63	130	湖南永顺芝麻	109.85	29.00
25	河南禹县白芝麻	113.38	34.77	131	平芝 15	114.62	32.96
26	河南鲁山八大杈	112.91	33.74	132	郑芝 22D06	114.62	32.96
27	山东东明胡庄集噙口黄	115.09	35.28	133	山东东阿芝麻	116.25	36.33
28	河南泌阳青芝麻三芦香	113.33	32.72	134	墨西哥 Teras77	99.13	19.43
29	河南遂平水白芝麻	114.01	33.15	135	湖北武昌紫花麻	114.35	30.56
30	河南项城双庙红芝麻	114.88	33.47	136	印度 TMV-4	72.88	19.08
31	河南沈丘李庄小籽黄	115.10	33.41	137	辽宁凤城朝鲜芝麻	124.07	40.45
32	河南滑县芝麻	114.52	35.58	138	辽宁黑山一束香	122.12	41.69
33	河南汝南李庄芝麻	114.36	33.01	139	辽宁喀喇沁左翼霸王鞭	119.74	41.13
34	河南淇县芝麻	114.20	35.61	140	辽宁法库芝麻	123.41	42.50
35	河南永城连毛青	116.45	33.93	141	辽宁新宾芝麻	125.04	41.73
36	河南浥池黄花芝麻	111.20	34.77	142	辽宁盖平芝麻	122.47	40.45
37	河南鹿邑贾滩噙口黄	115.48	33.86	143	辽宁兴城芝麻	120.47	40.61
38	山东东明刘楼母三胎	115.09	35.29	144	辽宁康平芝麻	123.35	42.75
39	河南确山李楼新芝麻	114.03	32.80	145	辽宁北镇喇嘛黄	121.80	41.59
40	河南南阳双庙油篓一条鞭	112.43	33.49	146	辽宁金县芝麻	121.84	39.34
41	河南洛宁独条白芝麻	111.65	34.39	147	辽宁康平八大杈	123.35	42.75
42	河南武陟大司马一条龙	113.40	35.10	148	山东邹平霸王鞭	117.74	36.86
43	河南鹿邑一条鞭	115.48	33.86	149	山东定陶一马鞭	115.60	35.06
44	江西上饶球型黑芝麻	117.94	28.45	150	山东菏泽一杆鞭	115.48	35.23
45	辽宁北镇蒜瓣子	121.80	41.59	151	河北平山小根鞭芝麻	113.98	38.27
46	辽宁开原权芝麻	124.04	42.55	152	河北正定一窝猴	114.57	38.15
47	辽宁绥中雁过青	120.34	40.33	153	河北肃宁小八杈	115.83	38.42
48	日本金芝麻	139.69	35.68	154	山西黎城芝麻	113.39	36.50
49	日本 O. 759	139.69	35.68	155	山西汾阳芝麻	111.79	37.27
50	印度 T-4	72.88	19.08	156	山西陵川芝麻	113.28	35.78
51	缅甸高产者	96.10	19.75	157	豫芝 1 号	114.62	32.96
52	缅甸耶格华	96.10	19.75	158	河南泌阳八大杈	113.33	32.72
53	陕西兴平五撮莲	108.49	34.30	159	湖北当阳四轮子	111.79	30.82
54	北京大兴芝麻	116.34	39.73	160	湖北孝感芝麻	113.92	30.92

续表 1:

编号 Code	资源名称 Name	经度/° Longitude( E )	纬度/° Latitude( N )	编号 Code	资源名称 Name	经度/° Longitude( E )	纬度/° Latitude( N )
55	北京大兴平顶黄	116.42	39.65	161	湖北孝感四方麻	113.92	30.92
56	天津武清霸王鞭	117.04	39.38	162	湖北武昌独角黄	114.32	30.55
57	天津武清霸王鞭-2	117.04	39.38	163	湖北武昌迟桠麻	114.32	30.55
58	河北沧县四筒	116.99	38.17	164	湖北武昌黑芝麻	114.32	30.55
59	河北正定一柱香	114.57	38.15	165	湖北五峰楼上楼	110.67	30.20
60	山西永济市于乡镇罗村芝麻	110.46	34.86	166	湖北浠水白茄麻	115.27	30.45
61	河北宁晋八棱白	114.92	37.62	167	湖北咸宁八方陀	114.35	29.84
62	河北滦平大青桔	117.33	40.94	168	湖北红安本地芝麻	114.62	31.29
63	河北平山芝麻	113.98	38.27	169	河南固始沙河芝麻	115.65	32.17
64	河北交河大穗白	116.29	38.02	170	湖北嘉鱼白芝麻	113.94	29.97
65	河北交河霸王鞭	116.29	38.02	171	湖北长阳芝麻	111.20	30.47
66	河北交河芝麻-3	116.29	38.02	172	湖北麻城黑芝麻	115.01	31.17
67	河北临城芝麻	114.50	37.44	173	江西吉水酱色芝麻	115.13	27.18
68	河北临漳芝麻	114.62	36.34	174	江西泰和六角红芝麻	114.95	26.83
69	河北石家庄鞭杆芝麻	114.51	38.04	175	江西抚州山芝麻	116.36	27.95
70	河北石家庄芝麻	114.51	38.04	176	日本 360(36)	139.69	35.69
71	河北香河大八杈-1	117.01	39.76	177	美国 UCR/82N0209	77.04	38.91
72	河北雄县八杈棵	116.11	38.99	178	莫桑比克 Suke O5-2	32.58	25.90
73	河北保定小八杈	115.46	38.87	179	莫桑比克	32.58	25.90
74	河北井陘芝麻	114.15	38.03	180	江西鄱阳白芝麻	116.70	29.01
75	河北藁城大八杈	114.85	38.02	181	豫芝 5 号加倍	114.62	32.96
76	河北三河小八杈	117.08	39.98	182	驻 893	114.02	33.01
77	河北香河大八杈-2	117.01	39.76	183	中油所 00-51013	114.31	30.59
78	河北霸县大八杈	116.75	39.01	184	印度-2	72.88	19.08
79	河北肃宁小八杈	115.83	38.42	185	郑芝 92D022	114.62	32.96
80	山东长清芝麻	116.75	36.55	186	驻 044A	114.02	33.01
81	安徽东至白子芝麻	117.03	30.11	187	漂芝 12	114.02	33.58
82	安徽全椒芝麻	118.27	32.09	188	泰国 Kuur8039	100.52	13.73
83	外芝 103	无	无	189	泰国 Kuur8034	100.52	13.73
84	安徽金寨白芝麻	115.93	31.73	190	襄芝 4116	112.12	32.01
85	安徽怀远蝶芝麻	117.21	32.97	191	湖北新洲野芝麻	114.80	30.84
86	湖北鄂城竹竿青	114.89	30.40	192	江西临川白芝麻	116.31	27.93
87	湖北京山霸王鞭	113.11	31.02	193	广东海丰四棱芝麻	115.32	22.97
88	湖北沙洋芝麻	112.59	30.71	194	郑芝 97S56	114.62	32.96
89	湖北建始白芝麻	109.73	30.60	195	郑芝 2037	114.62	32.96
90	湖北孝感芝麻	113.92	30.92	196	郑芝 9202	114.62	32.96
91	湖北潜江熊芝一号	112.90	30.40	197	郑芝 9933	114.62	32.96
92	湖北应山鲫鱼皮	113.82	31.62	198	郑芝 0134	114.62	32.96
93	湖北鄂城白芝麻	114.89	30.40	199	郑芝 0135	114.62	32.96
94	湖北嘉鱼芝麻	113.94	29.97	200	平芝 15	114.62	32.96
95	湖北黄冈白芝麻	114.87	30.45	201	興芝 2018	114.62	32.96
96	孟加拉芝麻	90.41	23.81	202	平芝 9002	114.62	32.96
97	湖北监利独苔	112.90	29.81	203	凤芝 2005	114.02	33.01
98	湖北安陆老鸦嘴	113.69	31.26	204	泛芝 2 号	114.53	33.77
99	湖北沙洋六棱子	112.59	30.71	205	中油 00-510013	114.31	30.59
100	阿联酋 24-5	54.37	24.47	206	晋芝 1 号	111.79	37.26
101	河南上蔡三黄芝麻	114.37	33.35	207	冀 128	114.51	38.04
102	中芝 8 号	114.31	30.59	208	冀 157	114.52	38.04
103	陕西武功芝麻	108.20	34.26	209	豫芝 10 号	114.62	29.01
104	冀芝 1 号	114.51	38.04	210	河南息县东岳镇芝麻-2	114.74	32.34
105	贵州芝麻	106.71	26.60	211	河南息县东岳镇芝麻-4	114.91	32.58
106	缅甸芝麻	96.10	19.75	212	河南新县吴陈河芝麻	114.88	31.64

注:收集地地理位置国内材料具体到县级政府所在地,国外材料具体到该国首都所在地;数据由 Google Earth(<http://www.google.com/earth/index.html>)在线获得。

Note:Geographical location of each line was indicated by longitude and latitude of the county city for domestic germplasms, while that was indicated by the site of capital for foreign materials;The data were collected online by Google Earth.

2 结果与分析

2.1 芝麻种质资源木酚素含量、千粒质量及籽粒颜色的统计分布

212 份种质资源同时在 4 个生态环境中种植,共收获 848 份种子样品。将 212 份资源材料籽粒木酚素含量、千粒质量及种皮颜色 4 个环境测定平均值的描述统计结果列于表 2,频率分布示于图 1。资源芝麻素含量变幅为 1.97 ~ 4.50 mg/g,均值为 3.17 mg/g;含量最高的是来自河南新野的农家种津湾念三,最低的是来自印度的品种 T4。芝麻林素含量变幅 0.31 ~ 2.35 mg/g,均值 1.82 mg/g,最高的是河北平山芝麻,最低的是日本金芝麻。芝麻素

含量显著高于芝麻林素含量,前者是后者的 1.74 倍。不同芝麻素含量品种资源数量分布相对均匀,而不同芝麻林素含量资源数量分布则集中在 1.50 ~ 2.00 mg/g,占全部资源的 74% 以上(图 1-A、B)。千粒质量均值为 2.81 g,变幅为 2.06 ~ 3.62 g,基本涵盖了目前生产的商品芝麻籽粒大小;千粒质量 2.50 ~ 3.00 g 的品种资源占全部资源的近 60% (图 1-C)。粒色 L 值平均为 49.67,变幅为 17.93 ~ 57.73,包括了生产贸易中黑、褐、黄、白芝麻;白芝麻品种占到总资源量的近 70% (图 1-D),与世界芝麻生产中白芝麻为主的现状一致。说明本研究采用的样本从数量和性状变异上均具有较好的代表性。

表 2 212 份芝麻种质资源木酚素含量、千粒质量及籽粒粒色 4 个环境均值的描述统计

Tab.2 Descriptive statistics for lignan contents,kilo-seed weight and seed-coat color of 212 sesame germplasm lines averaged from 4 different locations

性状 Trait	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max	变异系数/% CV
芝麻素/(mg/g) Sesamin	3.17	0.42	1.97	4.50	13.27
芝麻林素/(mg/g) Sesamolol	1.82	0.24	0.31	2.35	13.19
千粒质量/g Kilo-seed weight	2.81	0.29	2.06	3.62	10.34
粒色 Seed-coat color(L index)	49.67	6.81	17.93	57.73	13.71

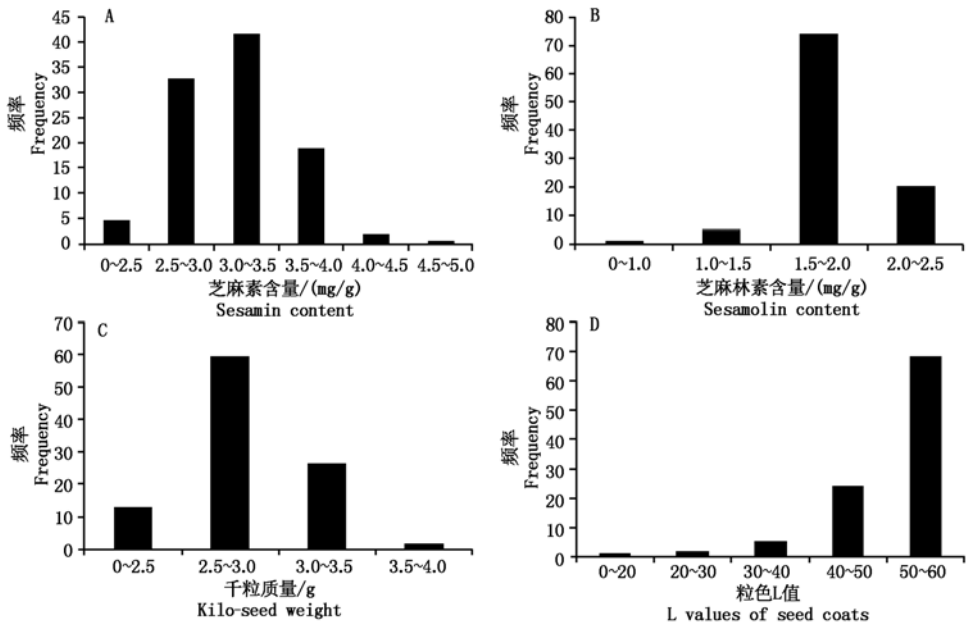


图 1 212 份芝麻种质资源籽粒芝麻素含量、芝麻林素含量、千粒质量及粒色 L 值的频率分布

Fig.1 Frequency distribution of sesamin,sesamolol contents,kilo-seed weight and seed-coat color of 212 accessions of sesame germplasm resources

2.2 不同产地芝麻木酚素含量的差异比较

对 212 份材料在 4 个不同生态区获得的种子芝麻素及芝麻林素含量进行描述统计分析和独立样本差异比较,结果列于表 3。阜阳、周口、襄阳、三亚 4 个地区 212 份资源材料芝麻素含量均值分别为 3.61,3.52,3.11,2.43 mg/g,品种间变异系数分别

为 16.88%,14.47%,15.09%,23.55%;4 个生态区中,阜阳芝麻素含量最高,周口次之,三亚最低。阜阳、周口、襄阳、三亚 4 个地区芝麻林素均值分别为 1.93,1.94,1.78,1.62 mg/g,品种间变异系数分别为 15.23%,14.17%,15.26%,20.10%;其中周口芝麻林素含量最高,阜阳次之,三亚最低。4 个生态

区芝麻素含量均高于芝麻林素含量,但二者大小变化趋势基本一致。独立样本测验表明,阜阳和周口芝麻素及芝麻林素含量差异均不显著,其他各点间二者差异均达极显著水平 ( $t$ -test,  $\alpha = 0.01$ )。在芝麻种植区划上河南周口 (N33. 63°, E114. 64°)、安徽

阜阳 (N32. 90°, E115. 81°)、湖北襄阳 (N32. 06°, E112. 12°) 和海南三亚 (N18. 24°, E109. 49°) 分属 3 个不同生态区(周口和阜阳同属黄淮芝麻产区),芝麻籽粒芝麻素和芝麻林素含量均有随纬度升高而增加的趋势。

表 3 不同产地芝麻木酚素含量的描述统计及差异比较

Tab. 3 Descriptive statistics and  $t$ -test for seed lignans of 212 sesame lines in 4 different locations

性状 Trait	地点 Location	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max	变异系数/% CV	$t$ 测验 $t$ -test
芝麻素/(mg/g) Sesamin	阜阳	3. 61	0. 61	1. 34	5. 03	16. 88	A
	周口	3. 52	0. 51	1. 42	5. 45	14. 47	A
	襄阳	3. 11	0. 47	1. 17	4. 45	15. 09	B
	三亚	2. 43	0. 57	0. 99	4. 75	23. 55	C
芝麻林素/(mg/g) Sesamolin	周口	1. 94	0. 27	0. 28	2. 68	14. 17	A
	阜阳	1. 93	0. 29	0. 15	2. 75	15. 23	A
	襄阳	1. 78	0. 27	0. 61	2. 41	15. 26	B
	三亚	1. 62	0. 33	0. 20	2. 46	20. 10	C

注:大写字母表示同一列不同地点间差异达 0.01 显著水平。

Note: Different capital letters indicated that differences between different locations in the same column reached the 0.01 level.

### 2.3 芝麻木酚素含量与籽粒外观性状的相关分析

籽粒大小和种皮颜色是芝麻商品生产、贸易中重要的外观品质性状,为探讨其与芝麻木酚素含量的关系,对千粒质量、粒色和木酚素含量进行了相关分析,结果列于表 4。芝麻素与芝麻林素在各环境及 4 个环境均值水平相关均不显著(数据未列出)。芝麻素含量与千粒质量在各环境及 4 个环境均值水

平均呈极显著负相关,即芝麻素含量有随着千粒质量增加而降低的趋势;芝麻素含量与粒色呈极显著正相关,即随着种皮颜色变深,芝麻素含量有降低的趋势。芝麻林素含量与千粒质量极显著正相关,即随着千粒质量增加芝麻林素含量有增加的趋势;但芝麻林素含量与籽粒颜色相关不显著。

表 4 芝麻木酚素含量与千粒质量、粒色的相关分析

Tab. 4 Correlation analysis among lignan contents, seed weight and seed-coat color across 4 environments

性状 Trait	千粒质量 Kilo-seed weight	籽粒颜色 L 值 Seed-coat color(L index)
芝麻素 Sesamin	-0.260 3 ** (-0.196 2 ** -0.186 4 ** -0.218 8 ** -0.189 7 **)	0.296 6 ** (0.251 4 ** 0.339 0 ** 0.188 0 ** 0.115 5 **)
芝麻林素 Sesamolin	0.227 9 ** (0.191 9 ** 0.112 0 ** 0.131 8 ** 0.209 1 **)	-0.028 7 (0.089 3 0.072 9 -0.082 1 -0.097 5)

注:括号外为 4 个环境均值的相关系数,括号内依次为周口、阜阳、襄阳、三亚的相关系数;\*\* 在  $\alpha = 0.01$  水平显著。

Note: Correlation coefficients out of brackets were calculated based on mean trait value of 4 locations, and that in brackets were coefficients calculated in Zhoukou, Fuyang, Xiangyang and Sanya in sequence, respectively; \*\* indicates significant at  $\alpha = 0.01$  level.

## 3 结论与讨论

### 3.1 产地对芝麻木酚素含量的影响

随着食品工业中广泛使用的合成抗氧化剂具有的潜在毒性和致癌作用不断被人们认识,芝麻木酚素作为一类天然抗氧化物和潜在的医疗保健品日益受到重视。芝麻籽粒总木酚素含量虽然不足 1%,但不同品种间各组分变异较大,为通过遗传改良提高木酚素含量、培育高木酚素品种奠定了理论基础。但木酚素在芝麻籽粒中的生物合成代谢过程十分复杂<sup>[14-15]</sup>,各组分的合成积累不但受基因型控制,还会受产地光照、温度等生态条件和干燥条件的影响<sup>[16-17]</sup>,同时基因型与环境间还可能存在互作。由于木酚素组分测定成本较高,以往研究均局限于单个产地的芝麻样品<sup>[5-12]</sup>,无法分析产地生态条件对

芝麻木酚素含量的影响。金青哲等<sup>[18]</sup>曾分析了来自国内不同产地的 15 份芝麻样品的芝麻素含量,由于未考虑到品种因素,仍然无法阐明产地与木酚素含量的关系。本研究利用 212 份芝麻品种资源,同时 4 个地点种植,利用较大样本量的同时又考虑了不同产地的生态条件。在芝麻种植区划上河南周口 (N33. 63°, E114. 64°)、安徽阜阳 (N32. 90°, E115. 81°)、湖北襄阳 (N32. 06°, E112. 12°) 和海南三亚 (N18. 24°, E109. 49°) 分属 3 个不同生态区(周口和阜阳同属黄淮芝麻产区)。在此 4 个地区生产的 212 份品种资源芝麻样品芝麻素和芝麻林素含量均值分别为 3. 52, 3. 61, 3. 11, 2. 43, 1. 94, 1. 93, 1. 78, 1. 62 mg/g。除了由于周口、阜阳生态区类相同木酚素含量差异不显著外,不同产地芝麻籽粒芝麻素和芝麻林素含量均有随纬度升高而增加的

趋势。但品种基因型与环境间仍然存在互作,例如 4 个产地平均结果中芝麻素含量最高的资源是河南新野津湾念三,周口、阜阳、襄阳和三亚 4 个产地的单环境芝麻素含量最高的资源分别为河南新野津湾念三、湖北武昌迟桠麻、河南郟县长桥白芝麻和缅甸芝麻。进一步对 4 个产地各样品木酚素含量相关分析表明,各点芝麻素含量相关系数变幅为 0.541 6 ~ 0.746 5,均值为 0.594 4;芝麻林素含量相关系数变幅 0.452 7 ~ 0.756 6,均值 0.570 7;均达到极显著水平 ( $\alpha=0.01$ )。由于各产地样品测定没有重复,无法做方差组分估算,芝麻木酚素受基因型、基因型与环境互作及环境影响的程度仍需进一步研究。

### 3.2 芝麻木酚素含量与商品外观品质的关系

芝麻籽粒大小和种皮颜色是商品生产、贸易中重要的外观品质性状,二者均有着较高的遗传力。以往在研究芝麻籽粒质量、粒色与木酚素含量的关系时,人们往往将有限的芝麻样本根据粒色、千粒质量人为地分作白、黄、褐、黑和大粒、小粒类型,然后定性比较木酚素含量的差异,得出了不同的结论<sup>[5-12,18]</sup>。本研究通过 HunterLab ColorFlex EZ 颜色分析仪扫描种皮颜色和精确称量千粒质量,对籽粒颜色和籽粒质量进行了定量,在此基础上进行了与木酚素组分的相关分析,得出了芝麻籽粒颜色与芝麻素含量呈极显著正相关 ( $r=0.296\ 6$ ,  $\alpha=0.01$ ),与芝麻林素含量相关不显著的结果;进一步确认了前人关于随着种皮颜色变深,芝麻素含量逐渐降低,而粒色与芝麻林素含量关系不大的结论。芝麻千粒质量与芝麻素含量呈极显著负相关 ( $r=-0.260\ 3$ ,  $\alpha=0.01$ ),与芝麻林素含量极显著正相关 ( $r=0.227\ 9$ ,  $\alpha=0.01$ ),说明随着芝麻千粒质量增加芝麻素含量会逐渐降低,而芝麻林素含量则有不断增加的趋势。考虑到市场对不同粒色和千粒质量的芝麻均有特殊的用途和需求,如需要提高木酚素含量则需要通过特定的遗传改良策略不断打破这些性状的固有遗传连锁,针对不同用途培育高木酚素芝麻新品种。本研究结果可为芝麻高木酚素资源筛选和新品种选育提供重要参考信息。

**致谢:**感谢河南省周口市农业科学院杨光宇研究员、安徽省阜阳市农业科学院吴涛研究员及湖北省襄阳市农业科学院贺建文研究员在田间试验安排中给予的热心帮助!感谢河南工业大学粮油食品学院胡华丽、刘日斌、刘晓林等对试验的帮助和指导!

### 参考文献:

[1] Shahidi F, Amarowicz R, Abou-Gharbia H A, *et al.* Endogenous antioxidants and stability of sesame oil as affected

by processing and storage[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1997, 74: 143 - 148.

- [2] 赵应忠. 芝麻抗氧化物质的种类、检测方法和含量变异[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(3): 97 - 102.
- [3] Namiki M. Nutraceutical functions of sesame: A review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(7): 651 - 673.
- [4] 戴清源, 朱秀灵, 刘 皓. 芝麻木脂素及其生物活性研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2012, 268(1): 16 - 21.
- [5] Tashiroa T, Fukudab Y, Osawaa T, *et al.* Oil and minor components of sesame (*Sesamum indicum* L.) strains [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1990, 67: 508 - 511.
- [6] Lee J I, Rhu S R, Kang C W, *et al.* Varietal differences of antioxidants in sesame seeds [J]. Korean Journal of Breeding, 1992, 24(3): 214 - 222.
- [7] Kang M H, Oh M K, Bang J K, *et al.* Varietal difference of lignin contents and fatty acids composition in Korean sesame cultivars[J]. Korean Journal of Crop Science, 2000, 45(3): 203 - 206.
- [8] Hemalatha S, Ghafoorunissa. Lignans and tocopherols in Indian sesame cultivars[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2004, 81(5): 467 - 470.
- [9] Kim K S, Lee J R, Lee J S. Determination of sesamin and sesamol in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds using UV spectrophotometer and HPLC[J]. Korean Journal of Crop Science, 2006, 51(1): 95 - 100.
- [10] Rangkadilok N, Pholphana N, Mahidol C, *et al.* Variation of sesamin, sesamol and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and oil products in Thailand [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 724 - 730.
- [11] Wang L H, Zhang Y X, Li P W, *et al.* HPLC analysis of seed sesamin and sesamol variation in a sesame germplasm collection in China[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2012, 89(6): 1011 - 1020.
- [12] 梅鸿献, 魏安池, 刘艳阳, 等. 芝麻种质资源芝麻素、蛋白质、脂肪含量变异及其相关分析[J]. 中国油脂, 2013, 38(4): 87 - 90.
- [13] 刘艳阳, 汪 红, 芦海灵, 等. 野生和栽培芝麻种子品质性状及近红外光谱分析[J]. 河南农业科学, 2014, 43(5): 44 - 47.
- [14] 胡华丽, 梅鸿献, 刘日斌, 等. 芝麻种子发育过程中木酚素、脂肪及蛋白质积累量变化研究[J]. 华北农学报, 2014, 29(1): 190 - 194.
- [15] Dar A A, Arumugam N. Lignans of sesame: Purification methods, biological activities and biosynthesis-A review [J]. Bioorganic Chemistry, 2013, 50: 1 - 10.
- [16] 范方婷, 陈 伟, 刘红彦. 干燥条件对芝麻外观形态和营养成分的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(11): 36 - 39.
- [17] Kumazaki T, Yamada Y, Karaya S, *et al.* Effects of day length and air and soil temperatures on sesamin and sesamol contents of sesame seed [J]. Plant Production science, 2009, 12(4): 481 - 491.
- [18] 金青哲, 刘元法, 王兴国, 等. 国产芝麻中芝麻素含量分析[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 85 - 87.