

胡麻种质资源籽粒表型与品质性状评价及其相关性研究

赵利¹, 王斌¹, 苗红梅², 马琴²

(¹ 甘肃省农业科学院作物研究所, 兰州 730070; ² 河南省农业科学院芝麻研究中心, 郑州 450008)

摘要: 为了通过籽粒表型来预测籽粒品质情况, 本研究测定了 238 份胡麻资源的 8 个籽粒表型指标和 7 个品质性状, 探索了它们间的关系。结果表明: 资源中籽粒黄度、表面积、千粒重和木酚素含量变异较大, 籽粒周长、粒长、粒宽和含油率变异较小。中国育成品种的平均籽粒亮度、亚油酸和木酚素含量最大, 中国地方品种的平均籽粒红度、黄度、棕榈酸、硬脂酸和油酸含量最大; 国外品种的平均籽粒长度、宽度、周长、表面积、千粒重、含油率和亚麻酸含量均最大。黄粒资源的籽粒亮度、黄度、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸、木酚素含量和含油率均比棕粒资源的大。籽粒长度、宽度、周长和表面积的增加有利于千粒重的提高; 籽粒越大, 红度越低, 含油率就越高。籽粒越长、越饱满、亮度和黄度越大, 其棕榈酸含量越高; 籽粒越大越饱满, 黄度越低, 油酸含量越高; 籽粒短小、干瘪的胡麻亚油酸和木酚素含量越高; 籽粒越大、黄度越高的品种亚麻酸含量越高。因此, 通过对胡麻籽粒形状和种皮颜色的选择实现对胡麻品质性状的间接选择, 为胡麻品质育种提供理论依据。

关键词: 胡麻; 籽粒形态; 品质性状; 相关性

Evaluation and Correlation Analysis on Seed Morphology and Quality Traits of Oil Flax Germplasm Resources

ZHAO Li¹, WANG Bin¹, MIAO Hong-mei², MA Qin²

(¹ Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070; ² Sesame Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008)

Abstract: In order to predict the seed quality of oil flax through seed morphology-related traits, eight seed-morphology characteristics and seven seed-quality traits were detected in 238 oil flax germplasm accessions. The results showed higher variation coefficient on yellowness, seed surface area, 1000-seed weight and lignan content, as well as lower variation coefficient on the seed circumference, seed length, width and oil content. The highest average values on traits of seed lightness, linoleic acid and lignan contents were observed in improved cultivars, and the highest average values on traits of seed redness and yellowness, palmitic acid, stearic acid and oleic acid contents were detected in landrace cultivars. The exotic cultivars showed the highest average values on seed length, width, circumference, surface area, 1000-seed weight, oil content and linolenic acid content. Regarding to the seeds of accessions with different color, the lightness, yellowness, palmitic acid, stearic acid, linolenic acid, lignan content and oil content of the yellow seeds were higher than those of the brown seeds. The seed length, width, circumference and surface area were positively correlated with and contributed to the thousand-seed weight. The accessions with bigger seeds and lower redness was briefly associated with a higher oil content. The longer, fuller, lighter and yellow seeds showed a higher palmitate content, while the bigger, fuller seeds with non-visible yellowness were associated with the higher oleic acid content. The higher contents of linoleic acid and lignan were observed in short, small and shriveled seeds. The bigger and yellow seeds were found with a higher content of linolenic acid. Therefore, this study revealed the correlation of flax-quality traits

收稿日期: 2019-11-07 修回日期: 2019-11-27 网络出版日期: 2019-12-27

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191107001>

第一作者主要从事胡麻种质资源与遗传育种研究, E-mail: 292515484@qq.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760397); 现代农业产业技术体系(CARS-14-03)

Foundation project: The Project of National Natural Science Foundation of China (31760397), China Agriculture Research System (CARS-14-03)

with seed morphological characteristics, which can provide theoretical basis in quality breeding of flax via selecting the morphological traits.

Key words: oil flax; seed morphological; quality traits; correlation

胡麻 (*Linum usitatissimum* L.) 籽因含有丰富的油脂、 α -亚麻酸、木酚素、亚麻胶、膳食纤维和优质蛋白等多种营养成分而在食品、工业、医药和保健品领域广泛应用^[1-5]。近年来,随着人们健康意识的不断增强,开发胡麻籽中的有益成分,满足人民群众的物质需求,已成为胡麻加工的重点。与此相适应,胡麻品质育种也成为了育种者研究的热点^[6-7]。而要进行品质育种,就要了解种质资源的品质情况。目前对资源品质的了解主要依靠实验室品质测定的结果。如何从籽粒外观表型就能较准确判断出籽粒的大概品质状况,从而在田间地头就能大致了解品种的品质情况,不仅能节约大量的人力、物力,而且能够提高选择效率,这无疑是一件令人兴奋的事情。

目前,中国品种资源研究主要集中在种质资源的农艺、品质性状和抗逆性的鉴定与评价方面^[7-14]。如宋军生等^[8]、王利民等^[7]、赵利等^[9-11]、王斌等^[12]、党照等^[13]通过测定 1000 余份胡麻资源的农艺和品质性状,筛选出了综合农艺性状优良的资源 70 余份,粗脂肪含量超过 42% 的资源 (LG 0795-4、轮选 3 号、张亚 2 号等) 10 余份^[9-10, 12-13]; α -亚麻酸含量超过 55% 的资源 (武威白胡麻、敦煌白胡麻、酒泉白胡麻等) 30 余份^[9-10, 12-13] 以及木酚素含量超过 10 mg/g 的资源 (97047、89092、坝亚 11 号、9425W-25-11 等) 10 余份^[11]。薄天岳^[14]对 508 份国内外胡麻品种资源进行了抗枯萎病的鉴定和评价,筛选出了红木 65、庆阳胡麻、陇亚 7 号等 45 份高抗枯萎病资源; 祁旭升等^[15]和欧巧明等^[16]先后对 419 份胡麻资源进行抗旱性鉴定,筛选出了庆阳老胡麻、安西红胡麻、精河胡麻等 1 级成株期抗旱资源和定亚 8 号、定亚 17 号和灵台五星等 28 份 2 级成株期抗旱资源。赵利等^[17]和王兴荣等^[18]对 55 份胡麻品种资源进行苗期抗旱性鉴定,筛选出了轮选 3 号、伊亚 4 号、2012631222 等 6 份苗期抗旱性较好的资源。然而有关资源籽粒形态 (如种皮颜色、籽粒的长、宽、千粒重、周长和表面积等) 性状特征与品质性状间关系的研究未见报道。

本研究测定了 238 份胡麻种质资源的籽粒表型性状 (籽粒长、宽、周长、表面积,籽粒亮度 L、红度 a、黄度 b 和千粒重) 与品质性状 (含油率、棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸和木酚素含量), 研究

了它们之间的关系,旨在为胡麻品质育种提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料

参试材料共 238 份 (附表 1, 详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191107001>), 其中包括中国的育成品种 (系) (27 份)、中国地方品种 (36 份)、国外品种 (175 份)。2017 年在甘肃景泰县甘肃省农科院胡麻育种基地种植, 5 行区, 行长 2 m, 随机区组排列, 2 次重复。栽培管理同大田, 收获后室内进行籽粒形态和品质性状含量测定。

1.2 方法

室内籽粒表型测定在河南省农业科学院芝麻研究中心进行, 含油率、脂肪酸和木酚素含量在甘肃省农业科学院作物研究所遗传育种实验室进行。籽粒的长、宽、周长、面积、千粒重及表面积等利用纽迈科技的种子自动数粒分析系统测定, 籽粒颜色: 亮度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*) 利用台式分光测色仪测定, 其中, L^* 值范围为 0~100, 代表从黑到白, 纯黑为 0, 纯白为 100。 a^* 和 b^* 为色度指数, a^* 值越大, 表示红度越高或绿色越淡, b^* 值越大表示黄度越大。含油率利用索氏抽提仪, 采用残余法测定^[19]; 脂肪酸含量利用 Agilent 7820 气相色谱仪, 采用 GBT 10219-1988 油菜籽中油的中长链脂肪酸组分的测定—气相色谱法测定^[20]; 木酚素含量利用 Waters 1220 液相色谱仪, 采用直接碱解法测定^[12]。

1.3 数据分析

利用 Excel 软件进行描述统计分析, 利用 SPSS 20.0 分析软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 参试材料籽粒形态特点

参试胡麻种质资源的籽粒颜色, 籽粒的长、宽、周长、表面积、千粒重等的测定值统计见表 1。从表 1 可以看出, 变异系数最大的是籽粒黄度, 其次是千粒重, 再次是籽粒表面积, 这 3 个性状的变异系数均超过了 10%。说明这些资源从色度、千粒重和籽粒表面积方面差别很大, 变异丰富。其余性状的变异均不大, 均在 5%~7% 之间。变异最小的是籽粒周

长,只有 5.53%。变幅较大的 2 个性状是亮度和黄度,变幅均超过了 20,其余性状的变幅均较小(在 5 以内),变幅最小的是粒宽,仅为 0.89。说明胡麻资源在粒宽方面变化不大,在亮度和黄度方面差别很大。

参试资源中,千粒重最大的是 BISOX × REDWING,最小的是临泽白胡麻;籽粒表面积最大的是 BISOX × REDWING,最小的是甘亚 1 号。籽粒周长最大的是 1158-S,最小的是阿里安;籽粒长度最大的是 1158-S,最小的是 CREPITAMTABOR;

籽粒宽度最大的是 BISOX × REDWING,最小的是甘亚 1 号;亮度最大的是甘亚 1 号,最小的是宕昌短脚胡麻;黄度最大的是临泽白胡麻,最小的是 N.P.75,籽粒红度最大的是张掖红胡麻,最小的是 RED × MAR MN61-2032。可以看出, BISOX × REDWING 的千粒重、籽粒表面积和籽粒宽度均最大,1158-S 的籽粒周长和粒长均最大,甘亚 1 号的粒宽和籽粒表面积均最小。可见粒宽、粒长、籽粒表面积和千粒重等存在一定的关系。

表 1 参试种质资源籽粒颜色、长、宽、周长、表面积和千粒重统计

Table 1 Statistics for seed-coat color, seed length, seed width, seed perimeter, seed surface area and 1000-seed weight of oil flax germplasms

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	极差 Variability	变异系数(%) CV
亮度 Lightness	58.68	35.15	39.88	2.68	23.53	6.72
红度 Redness	10.18	7.42	8.84	0.57	2.76	6.48
黄度 Yellowness	35.15	12.78	15.68	2.43	22.37	15.51
粒长(mm) Seed length	5.14	3.80	4.35	0.24	1.34	5.55
粒宽(mm) Seed width	2.89	2.00	2.32	0.13	0.89	5.73
籽粒周长(mm) Seed perimeter	13.16	9.93	11.25	0.62	3.23	5.53
籽粒表面积(mm ²) Seed surface area	10.90	6.09	7.78	0.82	4.81	10.57
千粒重(g) 1000-seed weight	8.15	3.54	5.48	0.73	4.61	13.26

2.2 参试材料籽粒品质特点

参试资源品质性状中,变异系数小于 10% 的仅有 3 个性状,从小到大依次为:含油率、棕榈酸含量和亚麻酸含量,其中含油率的变异系数仅为 3.32%,

可见这批资源中含油率的差别不大。其余 4 个性状的变异系数均大于 10%,以木酚素含量变异最大,高达 31.23%,可见木酚素含量在不同资源间差异非常大(表 2)。

表 2 参试种质资源含油率、脂肪酸含量和木酚素含量统计

Table 2 Statistics for seed oil, content, fatty acids content and lignan content of oil flax germplasms

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	极差 Variability	变异系数(%) CV
含油率(%) Oil content	45.27	35.30	38.43	1.28	9.97	3.32
棕榈酸含量(%) Palmitic acid content	8.04	5.05	6.19	0.43	2.99	7.01
硬脂酸含量(%) Stearic acid content	10.04	3.65	5.86	1.00	6.39	17.15
油酸含量(%) Oleic acid content	38.94	19.24	26.51	3.25	19.70	12.27
亚油酸含量(%) Linoleic acid content	27.43	8.80	13.59	2.40	18.63	17.68
亚麻酸含量(%) Linolenic acid content	57.82	35.62	47.91	3.52	22.20	7.35
木酚素含量(mg/g) Lignan content	7.24	1.29	3.49	1.09	5.95	31.23

参试资源中含油率最高的是 L.G.0795-4,最低的是 P.I.250551;棕榈酸含量最高的是定西红胡麻,最低的是 TYPE 23;硬脂酸含量最高的是 P.I.170497,最低的是 SAIDA8AD;油酸含量最高的是 ARGENTINE,最低的是 R150;亚油酸含量最高的是 STS,最低的是 NO.10;亚麻酸含量最高的是 HOSHAOAGABAD,最低的是 ARGENTINE;木

酚素含量最高的是 R103,最低的是 5648-C。

2.3 不同资源类型种子表型特征和品质特点的差异比较

2.3.1 按照不同来源划分的资源类型特点 按照来源不同,把参试资源分为 3 种类型,即中国地方品种、中国育成品种和国外品种。分别统计 3 种类型资源的表型特征和品质特征(表 3)。

表 3 不同类型资源种子表型和含油率的差异比较
Table 3 Correlation coefficient of seed morphological characteristics and oil content

性状 Trait	中国地方品种 Landrace					中国育成品种 Improved cultivars					国外品种 Exotic cultivars				
	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%)CV	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%)CV	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%)CV
亮度 Lightness	57.00	35.15	39.43	4.26	10.80	58.68	38.00	40.95	3.73	9.10	56.82	35.61	39.80	1.95	4.91
红度 Redness	10.18	7.55	9.29	0.60	6.43	10.10	7.56	8.90	0.68	7.60	10.04	7.42	8.74	0.50	5.77
黄度 Yellowness	35.15	13.56	16.38	4.15	25.32	34.47	13.52	16.21	3.73	23.00	31.60	12.78	15.45	1.52	9.84
粒长 (mm) Seed length	5.13	3.95	4.21	0.22	5.33	4.76	3.86	4.32	0.25	5.76	5.14	3.80	4.39	0.23	5.33
粒宽 (mm) Seed width	2.63	2.03	2.16	0.13	6.11	2.52	2.00	2.32	0.13	5.59	2.89	2.11	2.35	0.11	4.57
籽粒周长 (mm) Seed perimeter	13.12	10.03	10.78	0.60	5.53	12.23	10.08	11.20	0.64	5.70	13.16	9.93	11.35	0.58	5.11
籽粒表面积 (mm ²) Seed surface area	10.34	6.18	7.06	0.82	11.63	9.02	6.09	7.71	0.85	10.98	10.90	6.27	7.94	0.74	9.27
千粒重 (g) 1000-seed weight	6.77	3.54	4.69	0.61	12.98	6.93	3.86	5.42	0.76	14.01	8.15	4.06	5.65	0.63	11.20
含油率 (%) Oil content	40.18	35.88	37.56	0.93	2.48	40.11	37.27	38.46	0.78	2.02	45.27	35.30	38.61	1.33	3.45
棕榈酸含量 (%) Palmitic acid content	8.04	5.89	6.52	0.42	6.49	6.85	5.08	6.02	0.43	7.14	7.22	5.05	6.14	0.41	6.59
硬脂酸含量 (%) Stearic acid content	9.20	5.55	6.76	0.69	10.25	7.29	3.94	5.37	0.91	16.93	10.04	3.65	5.75	0.97	16.85
油酸含量 (%) Oleic acid content	35.98	22.50	26.97	3.18	11.78	29.82	19.24	24.24	2.55	10.53	38.94	19.83	26.77	3.24	12.11
亚油酸含量 (%) Linoleic acid content	15.47	9.82	12.26	1.07	8.69	24.90	12.17	17.12	3.98	23.26	27.43	8.80	13.32	1.70	12.75
亚麻酸含量 (%) Linolenic acid content	52.31	38.70	47.49	3.85	8.10	53.67	35.93	47.25	3.72	7.87	57.82	35.62	48.09	3.42	7.11
木酚素含量 (mg/g) Lignan content	6.30	1.33	3.55	1.14	32.25	7.24	2.82	4.43	1.17	26.44	6.69	1.29	3.33	0.99	29.77

从各项指标的平均值来看,粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积、千粒重和含油率高低排序一致,均表现为: 国外品种 > 中国育成品种 > 中国地方品种; 籽粒红度和黄度的排序为: 中国地方品种 > 中国育成品种 > 国外品种; 籽粒亮度和亚油酸含量的排序为: 中国育成品种 > 国外品种 > 中国地方品种; 棕榈酸、硬脂酸和油酸含量的排序为: 中国地方品种 > 国外品种 > 中国育成品种; 亚麻酸含量的排序为: 国外品种 > 中国地方品种 > 中国育成品种; 木酚素含量的排序为: 中国育成品种 > 中国地方品种 > 国外品种。

从各个指标的最大值来看,籽粒亮度和木酚素含量最大的资源均为中国育成品种; 红度、黄度和棕榈酸含量最大的资源为中国地方品种; 籽粒长度、宽度、周长、表面积、千粒重、含油量、硬脂酸含量、油酸含量、亚油酸含量、亚麻酸含量最大的均为国外品种。可见国外资源中的特异资源较中国育成品种和中国地方品种中的多。

从各个指标的变异系数来看,籽粒亮度、黄度、籽粒宽度、籽粒表面积、亚麻酸含量变异中国地方品种的最大,国外品种最小; 红度、籽粒周长、千粒重变异中国育成品种变异最大,国外品种最小; 籽粒长度变异中国地方品种与国外品种相同,中国育成品种最大; 国外品种的含油量、油酸含量变异最大,中国

育成品种的最小; 棕榈酸、亚油酸含量变异中国育成品种最大,中国地方品种最小; 硬脂酸含量变异国外品种与中国育成品种接近,均较大,中国地方品种最小; 木酚素含量变异中国地方品种最大,中国育成品种最小。

2.3.2 按照籽粒颜色划分的资源类型特点 按照籽粒颜色不同,把参试资源分为 2 种类型,即黄粒品种和棕粒品种。分别统计 2 种类型资源的表型指标和品质特征(表 4)。从各项指标的平均值来看,黄粒资源的籽粒亮度、黄度、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸、木酚素含量和含油率均比棕粒的大,而籽粒红度、粒长、粒宽、籽粒周长、籽粒表面积、千粒重、油酸和亚油酸含量均比棕粒的小。从各个指标的最大值来看,籽粒亮度和黄度最大的资源均为黄粒品种,其余指标的最大值均出现在棕粒品种中。从各个指标的变异系数来看,黄粒资源的籽粒亮度、红度、黄度、籽粒长度、宽度、籽粒周长、表面积、千粒重、含油率和棕榈酸含量变异均较棕粒品种大,其余指标变异较棕粒品种小。

2.4 籽粒表型指标和品质性状的相关性分析

对 238 份不同类型、不同来源的胡麻种质资源籽粒的 8 个表型指标与 7 个品质性状进行相关性分析(表 5),结果表明,千粒重和籽粒长度、籽粒宽度、籽粒周长和籽粒表面积均呈极显著正相关,与籽

表 4 不同类型资源种子表型和含油率的差异比较

Table 4 Correlation coefficient of seed morphological characteristics and oil content

性状 Trait	黄粒品种 Yellow-seed varieties					棕粒品种 Brown-seed varieties				
	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV
亮度 Lightness	58.68	36.83	44.55	8.50	19.08	56.82	35.15	39.67	1.90	4.80
红度 Redness	9.51	7.56	8.51	0.59	6.93	10.18	7.42	8.86	0.57	6.42
黄度 Yellowness	35.15	13.37	20.39	8.98	44.04	31.60	12.78	15.47	1.40	9.04
粒长 (mm) Seed length	4.76	3.95	4.34	0.31	7.24	5.14	3.80	4.35	0.24	5.48
粒宽 (mm) Seed width	2.45	2.00	2.25	0.18	7.81	2.89	2.03	2.32	0.13	5.61
籽粒周长 (mm) Seed perimeter	12.18	10.03	11.15	0.83	7.48	13.16	9.93	11.25	0.61	5.45
籽粒表面积 (mm ²) Seed surface area	8.91	6.09	7.54	1.07	14.26	10.90	6.27	7.79	0.81	10.40
千粒重 (g) Kilo-seeds weight	6.78	3.54	5.35	1.11	20.69	8.15	3.97	5.49	0.71	12.91
含油率 (%) Oil content	40.18	35.88	38.72	1.43	3.71	45.27	35.30	38.42	1.27	3.31
棕榈酸含量 (%) Palmitic acid content	7.10	5.35	6.27	0.53	8.52	8.04	5.05	6.18	0.43	6.95
硬脂酸含量 (%) Stearic acid content	6.84	4.45	5.93	0.89	14.96	10.04	3.65	5.85	1.01	17.27
油酸含量 (%) Oleic acid content	29.87	21.87	25.01	2.77	11.09	38.94	19.24	26.58	3.26	12.27
亚油酸含量 (%) Linoleic acid content	14.66	10.47	12.84	1.48	11.52	27.43	8.80	13.62	2.43	17.85
亚麻酸含量 (%) Linolenic acid content	53.81	43.45	49.96	3.14	6.28	57.82	35.62	47.82	3.51	7.35
木酚素含量 (mg/g) Lignan content	5.27	2.42	3.50	0.86	24.69	7.24	1.29	3.49	1.10	31.53

表 5 籽粒外观性状与品质性状相关性分析
Table 5 Correlation coefficient of seed appearance trait and quality traits

性状 Trait	亮度 Lightness	红度 Redness	黄度 Yellow- ness	粒长 Seed length	粒宽 Seed width	籽粒周 长 Seed perimeter	籽粒 表面 积 Seed surface area	千粒重 1000- seed weight	含油 率 Oil content	棕榈酸 含量 Palmitic acid content	硬脂酸 含量 Stearic acid content	油酸含 量 Oleic acid content	亚油酸 含量 Linoleic acid content	亚麻酸 含量 Linolenic acid content	木酚素 含量 Lignan content
亮度	1														
红度	-0.204**	1													
黄度	0.869**	0.109	1												
粒长	0.177**	-0.152*	-0.021	1											
粒宽	0.112	-0.225**	-0.111	0.834**	1										
籽粒周长	0.170**	-0.184**	-0.045	0.987**	0.904**	1									
籽粒表面积	0.152*	-0.187**	-0.065	0.959**	0.953**	0.987**	1								
千粒重	0.069	-0.306**	-0.144*	0.875**	0.911**	0.912**	0.929**	1							
含油率	-0.044	-0.129*	-0.090	0.254**	0.267**	0.281**	0.259**	0.414*	1						
棕榈酸含量	0.259**	0.136*	0.250**	0.209**	0.103	0.191**	0.173**	0.100	-0.010	1					
硬脂酸含量	0.038	0.051	0.053	0.051	-0.037	0.027	0.023	0.024	-0.063	0.492**	1				
油酸含量	-0.088	-0.082	-0.130*	0.154*	0.127*	0.145*	0.145*	0.114	-0.234**	0.202**	0.121	1			
亚油酸含量	-0.094	0.076	-0.078	-0.156*	-0.083	-0.134*	-0.133*	-0.094	0.117	-0.191**	-0.379**	-0.274**	1		
亚麻酸含量	0.117	0.001	0.136*	-0.074	-0.061	-0.072	-0.069	-0.053	0.153*	-0.314**	-0.208**	-0.738**	-0.307**	1	
木酚素含量	0.091	0.071	0.060	-0.046	0.009	0.003	-0.017	0.12	0.079	0.050	-0.037	-0.087	0.183**	-0.024	1

* 代表在 0.05 水平上显著相关, ** 代表在 0.01 水平上显著相关

** Represents significant correlation at $P < 0.01$

粒红度和黄度呈(极)显著负相关;含油率与籽粒长度、宽度、周长、表面积、千粒重和亚麻酸含量均呈(极)显著正相关,与籽粒红度和油酸含量呈(极)显著负相关;棕榈酸含量与籽粒亮度、红度、黄度、粒长、周长、表面积、硬脂酸和油酸含量均呈(极)显著正相关,与亚油酸、亚麻酸含量均呈极显著负相关;油酸含量与粒长、粒宽、周长、表面积和棕榈酸均呈(极)显著正相关,与籽粒黄度、含油率、亚油酸和亚麻酸含量均呈(极)显著负相关;亚油酸含量与粒长、周长、表面积、棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚麻酸含量均呈(极)显著负相关,与木酚素含量呈极显著正相关;亚麻酸含量与籽粒黄度和含油率呈显著正相关,与棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚油酸含量均呈极显著负相关;籽粒表型指标与木酚素含量均无显著相关性。

3 讨论

胡麻是我国西北和华北地区重要的油料作物和经济作物之一。胡麻油是一种优质保健食用油,富含人体必需但自身不能合成的 α -亚麻酸和亚油酸,特别是 α -亚麻酸含量高达50%左右,被誉为“陆地上的深海鱼油”。目前,随着人民生活水平的提高,胡麻育种研究已经从以前的高产、高抗为主发展为优质、高产、高抗并重的育种目标,即含油率要求在40%以上, α -亚麻酸含量在55%以上,木酚素含量最好在10 mg/g以上。目前中国新育成品种的含油率基本上都在40%以上,但是 α -亚麻酸和木酚素含量没有几个达标的,是下一步应该改良的重点。

胡麻含油率、脂肪酸含量均属复杂的数量性状,含油率和脂肪酸含量受主基因+多基因遗传控制,也受环境条件的影响,且不同地区的遗传机制不同^[19-20]。如何仅依靠外形特征就能基本了解胡麻的品质情况,国内外目前报道较少,仅有籽粒颜色(仅分为黄色和棕色)与含油率、千粒重等的关系的报道^[21-24],如Culbertson等^[21-22]、Comstock等^[23]和Saeidi等^[24]均发现黄色的亚麻籽含油率和千粒重均高于棕色亚麻籽的报道,而把颜色按照红度、黄度和亮度细分,定量来研究其与含油率、脂肪酸、木酚素含量的关系则未见报道。

本研究对来自甘肃品种资源库的238份胡麻资源进行了籽粒表型特征和重要品质性状的测定,统计了其表型及品质特点,并对不同的表型特征和品质性状进行了相关性分析,发现资源中籽粒黄度、千

粒重、籽粒表面积、木酚素含量变异较大,籽粒周长、含油率、棕榈酸含量和亚麻酸含量变异较小,且不同类型的品种籽粒表型和品质的排序也不太一样。从不同颜色资源类型的平均值来看,黄粒资源的籽粒亮度、黄度、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸、木酚素含量和含油率均比棕粒的大,而籽粒红度、粒长、粒宽、周长、表面积、千粒重、油酸和亚油酸含量均比棕粒的小。其中黄粒资源的含油率比棕粒的大这一结论与Culbertson等^[21-22]、Comstock等^[23]、Saeidi等^[24]、Khan等^[25]和Diederichsen等^[26]的研究结果一致。而关于不同颜色资源的千粒重,Culbertson等^[21-22]、Comstock等^[23]和Diederichsen等^[26]均报道黄粒资源的千粒重比棕粒的大,而本研究结果与上述结论不一致,原因可能有2个方面:一是试验材料不同,本研究采用的试验材料既有中国地方资源、国外资源,也有中国育成品种,相比较上述研究而言,类型较多;二是资源数量虽大,但黄粒资源仅有10份,代表性可能不足,需要再次验证。

相关性分析表明,千粒重和籽粒长度、宽度、周长和表面积均呈极显著正相关,且相关系数分别达到了0.875、0.911、0.912和0.929,说明籽粒长度、宽度、周长和表面积的增加有利于千粒重的提高。且含油率与籽粒长、宽、周长、表面积、千粒重均呈极显著正相关,与籽粒红度呈显著负相关,说明籽粒长、宽、周长、表面积和千粒重的增加均有利于含油率的提高,即籽粒越大,红度越低,含油率就越高。即提高含油率可通过选择千粒重大、籽粒红度小的品种来实现定向选择。这与李建增等^[27]对千粒重和含油率之间的关系的研究结果一致,也与Culbertson等^[21-22]、Comstock等^[23]、Saeidi等^[24]、Khan等^[25]和Diederichsen等^[26]报道的黄色的亚麻籽含油率高于棕色亚麻籽的研究结果一致。因此在选育含油率高的品种上应该选择千粒重较大、籽粒红度小的材料。籽粒亮度、红度、黄度、粒长、籽粒周长和籽粒表面积均与棕榈酸呈(极)显著正相关,说明籽粒越长、越饱满、亮度和黄度越大,其棕榈酸含量越高;油酸含量与粒长、粒宽、周长和表面积均呈显著正相关,与籽粒黄度呈显著负相关,说明籽粒越大、越饱满,黄度越低,油酸含量越大;亚油酸含量与粒长、周长和籽粒表面积均呈显著负相关,与木酚素含量呈极显著正相关,说明籽粒短圆、干瘪的胡麻亚油酸和木酚素含量越高;亚麻酸含量与籽粒黄度和含油率均呈显著正相关,表明籽粒越大、红度越低、黄度越大的品种其含油率和亚麻酸含量越高。木酚素

含量与籽粒表型指标均无显著相关性。因此,根据目前的育种目标,生产中应该选择籽粒较大、红度较小,黄度大的品种,这样的品种不仅含油率高,而且亚麻酸含量也较高。试验结果也与生产中的经验基本一致。因此,可通过对胡麻籽粒形状和种皮颜色的选择实现对胡麻品质性状的间接选择,为胡麻品质育种提供理论依据。

参考文献

- [1] 赵利,党占海,李毅,张建平,谢小龙,王溪森,胡延萍. 亚麻籽的保健功能和开发利用. 中国油脂, 2006, 31(3): 71-73
Zhao L, Dang Z H, Li Y, Zhang J P, Xie X L, Wang X S, Hu Y P. Health function, exploitation and utilization of flaxseed. China Oils and Fats, 2006, 31(3): 71-73
- [2] 党占海,赵玮. 胡麻产业技术体系. 兰州: 兰州大学出版社, 2015
Dang Z H, Zhao W. Flax research system. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2015
- [3] 狄济乐. 亚麻籽作为一种功能食品来源的研究. 中国油脂, 2002, 27(4): 55-57
Di J L. Study on flaxseed as the source of functional food. China Oils and Fats, 2002, 27(4): 55-57
- [4] 黄海浪,张水华. 亚麻籽的营养成分及其在食品工业中的应用. 食品研究与开发, 2006(6): 152-154
Huang H L, Zhang S H. The nutritional substances of flaxseed and the application in food industry. Food Research and Development, 2006(6): 152-154
- [5] 曹秀霞,张信. 胡麻籽营养保健功能成分研究综述. 安徽农学通报, 2009, 15(21): 75-76
Cao X X, Zhang X. Review on the research of the functional components of flax seed. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(21): 75-76
- [6] 赵利,赵玮,李闻娟,王利民,党照. 不同环境下胡麻脂肪酸含量的遗传分析. 干旱地区农业研究, 2018, 36(6): 48-55
Zhao L, Zhao W, Li W J, Wang L M, Dang Z. Genetic analysis of fatty acid contents in flax (*Linum usitatissimum* L.) grown under different environmental conditions. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(6): 48-55
- [7] 王利民,党占海,张建平,赵利,党照,赵玮. 胡麻农艺性状与品质性状的相关性分析. 中国农学通报, 2013, 29(27): 88-92
Wang L M, Dang Z H, Zhang J P, Zhao L, Dang Z, Zhao W. Correlation analysis between agronomic traits and quality traits in flax. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(27): 88-92
- [8] 宋军生,党占海,张建平,王利民,李闻娟,张瑜,陈芳,张琼. 油用亚麻品种资源农艺性状的主成分及聚类分析. 西南农业学报, 2015, 28(2): 492-497
Song J S, Dang Z H, Zhang J P, Wang L M, Li W J, Zhang Y, Chen W, Zhang Q. Principal component analysis and cluster analysis of oil flax germplasm based on agronomic traits. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(2): 492-497
- [9] 赵利,党占海,张建平. 甘肃胡麻地方品种种质资源品质分析. 中国油料作物学报, 2006, 28(3): 282-286
Zhao L, Dang Z H, Zhang J P. Quality characters of flax land races in Gansu. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2006, 28(3): 282-286
- [10] 赵利,党占海,张建平,关天霞,田彩萍. 不同类型胡麻品种资源品质特性及其相关性研究. 干旱地区农业研究, 2008(5): 12-15
Zhao L, Dang Z H, Zhang J P, Guan T X, Tian C P. Study on quality characters and correlation of different types of flax germplasm. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008(5): 12-15.
- [11] 赵利,牛俊义,党占海,李毅,谢小龙,关天霞,田彩萍. 中国新育油用亚麻品种(系)木酚素含量研究. 中国农业科学, 2009, 42(2): 454-459
Zhao L, Niu J Y, Dang Z H, Li Y, Xie X L, Guan T X, Tian C P. Evaluation of lignan contents of newly bred flax varieties (lines) in China. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(2): 454-459
- [12] 王斌,赵利,王利民,张建平,谢亚萍,赵玮. 胡麻种质资源主要品质性状的分析与评价. 中国油料作物学报, 2018, 40(6): 785-792
Wang B, Zhao L, Wang L M, Zhang J P, Xie Y P, Zhao W. Main quality traits analysis and evaluation of oil flax germplasms. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(6): 785-792
- [13] 党照,赵利. 利用近红外分析技术测定胡麻种质资源品质. 西北农业学报, 2008, 17(2): 110-113
Dang Z, Zhao L. Application of the near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in analyzing flaxseed germplasm quality. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2008, 17(2): 110-113
- [14] 薄天岳. 亚麻抗锈病、抗枯萎病基因的分子标记及品种资源对枯萎病的抗性评价. 成都: 四川农业大学, 2002
Bo T Y. Molecular markers for the rust and wilt resistance genes in flax and evaluation of flax germplasm for the resistance to wit. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2002
- [15] 祁旭升,王兴荣,许军,张建平,米君. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087
Qi X S, Wang X R, Xu J, Zhang J P, Mi J. Drought-resistance evaluation of flax germplasm at adult plant stage. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(15): 3076-3087
- [16] 欧巧明,叶春雷,李进京,陈军,崔文娟,王立光,罗俊杰. 胡麻种质资源成株期抗旱性综合评价及其指标筛选. 干旱区研究, 2017, 34(5): 1083-1092
Ou Q M, Ye C L, Li J J, Chen J, Cui W J, Wang L G, Luo J J. Comprehensive valuation and screening of drought resistance of flax germplasms. Arid Zone Research, 2017, 34(5): 1083-1092
- [17] 赵利,王斌,赵玮,齐燕妮. 胡麻品种苗期抗旱性综合鉴定与评价. 干旱地区资源与环境, 2019, 33(12): 179-185
Zhao L, Wang B, Zhao W, Qi Y N. Comprehensive evaluation and identification of drought resistance of 16 oil flax cultivars at seedling stage. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(12): 179-185
- [18] 王兴荣,苟作旺,张彦军,李玥,祁旭升. 基于反复干旱法的胡麻苗期抗旱性鉴定与评价. 中国种业, 2015(8): 52-55
Wang X R, Gou Z W, Zhang Y J, Li Y, Qi X S. Identification and evaluation of drought resistance of flax seedling based on repeated drought. China Seed Industry, 2015(8): 52-55

