

张掖市不同海拔地区 5 个胡麻品种品质特性比较分析

缪纯庆¹, 刘秦¹, 范惠玲², 王娟¹, 白生文³, 何淑萍¹, 白静¹, 吴子孝^{1*}

1.张掖市农业科学研究院, 甘肃 张掖 734000;
2.河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000;
3.河西学院生命科学与工程学院, 甘肃 张掖 734000

摘 要: 胡麻是甘肃省主要经济作物之一,海拔 2 400 m 以下的河西地区为甘肃高产区。为探明张掖不同海拔高度对胡麻品质特性的影响和不同胡麻品种的最佳种植区域,利用近红外品质分析仪,分析了张掖市 4 个不同海拔地区 5 个胡麻品种的常规品质指标、饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的含量差异。结果表明:蛋白质、粗脂肪、膳食纤维、棕榈酸、十七碳酸、豆蔻酸、二十四碳酸、油酸和 α -亚麻酸含量的品种和海拔间互作效应极显著 ($P<0.01$); 山嵛酸、棕榈油酸、顺-11-二十碳一烯酸、亚油酸、 γ -亚麻酸和顺-11,14,17-二十碳三烯酸含量随海拔高度不同,变化较小,稳定性好。在高含油量育种目标的基础上,兼顾高三大主要不饱和脂肪酸(α -亚麻酸、油酸和亚油酸)、低两大饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)以及高蛋白等其他品质育种目标的角度考虑,在张掖市甘州区、高台县巷道镇和民乐县三堡镇、民乐县六坝镇,最适宜种植的胡麻品种分别是 5-9812-2-1、09-3-11、张亚 2 号。不同海拔高度对胡麻各品质指标具有重要影响,张掖市作为优质胡麻籽生产基地,可利用不同胡麻品种适宜种植区域不同,大力发展胡麻籽品质育种和胡麻籽综合开发等。

关键词: 胡麻; 品种(系); 饱和脂肪酸; 不饱和脂肪酸; 品质特性

DOI: 10.19586/j.2095-2341.2020.0131

中图分类号: S563.2 文献标识码: A

Analysis on Quality Character of Five Flaxseed Varieties in Different Altitude Regions of Zhangye

MIU Chunqing¹, LIU Qin¹, FAN Huiling², WANG Juan¹, BAI Shengwen³, HE Shuping¹, BAI Jing¹, WU Zixiao^{1*}

1.Zhangye Agricultural Science Research Institute, Gansu Zhangye 734000, China;
2.College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Gansu Zhangye 734000, China;
3.College of Life Sciences and Engineering, Hexi University, Gansu Zhangye 734000, China

Abstract: Flaxseed is one of the main cash crops in Gansu Province, and Hexi area below 2 400 m above sea level is a high-yielding area in Gansu Province. In order to find out the influence of different altitudes on the quality characteristics of flax and the best planting area of different flax varieties in Zhangye, the content differences of the conventional quality indexes, saturated fatty acids and unsaturated fatty acids of 5 flax varieties in 4 different altitudes in Zhangye City were analyzed by using near infrared quality analyzer. The results showed that, the interaction effect between varieties and altitudes with the contents of protein, crude fat, dietary fiber, palmitic acid, heptadecanoic acid, myristic acid, tetracarboxylic acid, oleic acid and α -linolenic acid was extremely significant ($P<0.01$). The content of behenic acid, palmitoleic acid, cis-11-eicosapentaenoic acid, linoleic acid, γ -linolenic acid and cis-11,14,17-eicosatrienoic acid changed little with altitude and had good stability. On the basis of breeding goal of high oil content, taking into account other quality breeding goals such as high three unsaturated fatty acids (α -linolenic acid, oleic acid and linoleic acid), low two saturated fatty acids (palmitic acid and stearic acid) and high protein, the most suitable flax varieties to be planted in Ganzhou District of Zhangye City, Landao Town of Gaotai County and Sanbao Town of Minle County, and Liuba Town of Minle County were 5-9812-2-1, 09-3-11, Zhangya 2, respectively. Different

收稿日期:2020-10-14; 接受日期:2021-03-11
基金项目:甘肃省重大科技专项(17ZD2NA016)。
联系方式:缪纯庆 E-mail:363576645@qq.com; * 通信作者 吴子孝 E-mail:511935893@qq.com

altitudes had an important influence on the quality indexes of flax. As a production base of high-quality flax seeds, Zhangye City can make use of the different suitable planting areas of different flax varieties to vigorously develop quality breeding and comprehensive development of flax seeds.

Key words: flax; variety (lines); saturated fatty acid; unsaturated fatty acid; quality character

油用亚麻 (*Linum usitatissimum* L.), 俗称胡麻, 是我国华北、西北地区主要的油料作物之一^[1]。张掖市地处甘肃省河西走廊中部地带, 胡麻是本地区主要的油料作物之一^[2]。胡麻生产已成为张掖市的一项支柱产业, 对调整农业产业结构、促进农业经济发展等方面都有重要意义。

多年来, 国内外学者在胡麻品质特性研究方面做了大量工作, 主要从不同角度研究了胡麻籽油脂脂肪酸组成^[3-8]、亚麻籽的营养保健价值^[9-11]、地方种质资源品质特性以及不同提取工艺、施肥方式对胡麻 (油) 品质的影响等^[12-15]。廖丽萍等^[3]用气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用技术研究了 35 份不同品种胡麻脂肪酸含量, 结果表明, 亚麻酸 (41.62%) > 油酸 (25.87%) > 亚油酸 (17.18%) > 硬脂酸 (6.59%) > 棕榈酸 (6.46%)。谢冬微等^[12]对来自国内外 237 份胡麻种质脂肪酸的研究表明, 油分含量与亚麻酸含量呈极显著正相关。但关于不同海拔高度对胡麻品种品质特性的研究未见报道。因此, 本研究以特性各异的胡麻品种 09-3-11、张亚 2 号、5-9812-2-1、9813-1-2-1 和陇亚 10 号为研究材料, 利用瑞士波通 DA7200 型近红外品质分析仪, 通过测定、分析张掖市甘州区乌江镇、高台县巷道镇、民乐县六坝镇和三堡镇 4 个不同海拔地区亚麻籽脂肪酸等品质指标含量的差异, 希望明确不同海拔高度对胡麻品质指标的影响和不同胡麻品种的最佳种植区域, 以期为胡麻品质改良和优质生产基地布局提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试胡麻品种 (系) 共 5 个, 分别为 5-9812-2-1 (A1)、9813-1-2-1 (A2)、陇亚 10 号 (A3)、张亚 2 号 (A4) 和 09-3-11 (A5), 均由张掖市农业科学研究院生态高值研究所提供。供试材料中, 除陇亚 10 号 (A3) 为蓝花、籽粒红色外, 其余供试材料均为白花、籽粒淡黄色。

1.2 试验设计与方法

试验地点设置在张掖市甘州区乌江镇 (海拔 1 424 m, B1)、高台县巷道镇 (海拔 1 638 m, B2)、民乐县六坝镇 (海拔 1 807 m, B3) 和民乐县三堡镇 (海拔 1 985 m, B4)。每个品种 (系) 按小区种植, 采用随机区组试验设计, 小区面积 6 m², 3 次重复, 试验处理见表 1。试验于 2019 年进行, 采用条播方式, 播种量为 900 万粒·hm⁻²。田间管理同当地大田生产一致。成熟收获后, 每个小区随机抽取有代表性的种子 100 g 进行品质分析。

表 1 试验材料及处理
Table 1 Combination and numbering of test treatment

地点	品种	处理
甘州区 乌江镇 (B1)	5-9812-2-1 (A1)	B1A1
	9813-1-2-1 (A2)	B1A2
	陇亚 10 号 (A3)	B1A3
	张亚 2 号 (A4)	B1A4
	09-3-11 (A5)	B1A5
高台县 巷道镇 (B2)	5-9812-2-1 (A1)	B2A1
	9813-1-2-1 (A2)	B2A2
	陇亚 10 号 (A3)	B2A3
	张亚 2 号 (A4)	B2A4
	09-3-11 (A5)	B2A5
民乐县 六坝镇 (B3)	5-9812-2-1 (A1)	B3A1
	9813-1-2-1 (A2)	B3A2
	陇亚 10 号 (A3)	B3A3
	张亚 2 号 (A4)	B3A4
	09-3-11 (A5)	B3A5
民乐县 三堡镇 (B4)	5-9812-2-1 (A1)	B4A1
	9813-1-2-1 (A2)	B4A2
	陇亚 10 号 (A3)	B4A3
	张亚 2 号 (A4)	B4A4
	09-3-11 (A5)	B4A5

1.3 测定项目

采用瑞士波通 DA7200 型近红外品质分析仪测定蛋白质、粗脂肪、膳食纤维、灰分、钙、饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量。样品处理前, 开机预热 30 min 以上, 上样前将除样品外的其他杂物择出, 分析时, 取样品装满样品杯即可, 约 50~60 g, 每个样品分析 3 次, 分析结果为样品 3 次重复的平均值。

1.4 数据分析

本研究利用瑞士波通 DA7200 型近红外品质分析仪已定标的模型对胡麻样品主要品质指标进行了测定;利用 Excel 2010 计算平均值和变异系数;利用 SPSS 22 分析软件中单因素分析方法统计各个指标差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同海拔胡麻品种常规品质指标含量差异分析

对同一海拔地区的不同品种间常规品质指标含量进行差异显著性分析。如表 2 所示,B3 点胡

麻品种间蛋白质含量变异最小(变异系数为 2.53%),平均含量 22.64%;B1 点种植的胡麻品种间粗脂肪含量变异最小(变异系数为 4.12%),平均含量 37.80 g·100 g⁻¹;B2 点种植的胡麻品种间膳食纤维含量变异最小(变异系数为 4.73%),平均含量 28.24 g·100 g⁻¹;B4 点种植的胡麻品种间灰分含量变异最小(变异系数为 1.43%),平均含量 3.84 g·100 g⁻¹;B1 点种植的胡麻品种间钙含量变异最小(变异系数为 2.20%),平均含量 2.31 mg·g⁻¹。4 个不同海拔地区胡麻常规品质指标含量均为:粗脂肪>膳食纤维>蛋白质>灰分>钙。

不同海拔、不同品种间常规品质指标均存在

表 2 张掖市不同海拔地区胡麻品种常规品质指标及含量分析
Table 2 Analysis of nutrient composition and content of flax variety in Zhangye with different altitude

处理	蛋白质/%	粗脂肪 /(g·100g ⁻¹)	膳食纤维 /(g·100g ⁻¹)	灰分 /(g·100g ⁻¹)	钙 /(mg·g ⁻¹)	
B1	A1	21.30abABC	39.70aA	28.60aA	3.40cB	2.33aA
	A2	22.20aA	36.80bBC	26.00bB	3.60bcAB	2.31aA
	A3	20.60bcBC	35.90cC	28.60aA	3.50bcAB	2.38aA
	A4	21.80aAB	39.00aA	24.50cC	4.30aA	2.26aA
	A5	20.00cC	37.60bB	28.10aA	4.00abAB	2.26aA
	平均值	21.18	37.80	27.16	3.76	2.31
	变异系数/%	4.20	4.12	6.75	10.06	2.20
B2	A1	22.60bA	41.80aA	27.30bB	3.70aA	1.96aA
	A2	22.70abA	38.20cC	29.60aA	3.50abA	1.83aA
	A3	20.10cB	36.20dD	27.20bB	3.80aA	1.93aA
	A4	20.20cB	36.90dD	29.80aA	2.50cB	2.08aA
	A5	23.60aA	40.10bB	27.30bB	3.10bAB	1.75aA
	平均值	21.84	38.64	28.24	3.32	1.91
	变异系数/%	7.29	5.97	4.73	16.00	6.61
B3	A1	23.10aA	36.50eD	24.20bB	3.80abAB	2.15aA
	A2	22.60abA	37.60dCD	26.80aA	3.40bcAB	2.19aA
	A3	22.70aA	38.70cBC	23.10cB	3.90abAB	2.29aA
	A4	21.70bA	39.80bB	26.40aA	3.10cB	2.26aA
	A5	23.10aA	42.30aA	27.20aA	4.10aA	2.22aA
	平均值	22.64	38.98	25.54	3.66	2.22
	变异系数/%	2.53	5.71	7.01	11.03	2.49
B4	A1	25.90abA	35.90dD	22.80dD	3.80aA	2.19aA
	A2	22.70cB	36.80cCD	25.70cC	3.80aA	2.26aA
	A3	25.30bA	38.40bB	22.20dD	3.90aA	2.29aA
	A4	25.40bA	37.70bBC	28.60aA	3.90aA	2.15aA
	A5	26.60aA	40.70aA	27.00bB	3.80aA	2.22aA
	平均值	25.18	37.90	25.26	3.84	2.22
	变异系数/%	5.87	4.82	10.80	1.43	2.49

注: 同列数据后不同大、小写字母分别表示差异在 P<0.01 和 P<0.05 水平有统计学意义。

显著差异。其中,蛋白质含量以 B4A5 最高(26.60%),B1A5 最低(20.0%);粗脂肪含量以 B3A5 为最高处理(42.30 g·100 g⁻¹),较最低处理(B1A3、B4A1)提高了 17.83%;膳食纤维含量以 B2A4 为最高处理,高达 29.80 g·100 g⁻¹,较最低处理 B4A3 提高了 34.23%;灰分含量以 B1A4 为最高处理(4.30 g·100 g⁻¹),较最低处理 B2A4 提高了 72%;钙含量以 B1A3 为最高处理,高达 2.38 mg·g⁻¹,较最低处理 B2A5 钙含量提高了 36.00%。

对不同海拔地区胡麻品种各常规品质指标的地点、品种进行互作效应分析表明(表 3),不同品种常规品质指标中除灰分、钙的品种及钙的地点×品种互作效应不显著外,蛋白质、粗脂肪、膳食纤维的地点、品种、地点×品种互作效应均极显著($P<0.01$),表明地点间、品种间不同常规品质指标均存在极显著差异,而且各品质性状均存在地点×品种的交互作用。

2.2 不同海拔胡麻品种饱和脂肪酸含量差异分析

对不同海拔地区种植的胡麻品种中检测出的棕榈酸、十七碳酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸、豆蔻酸和二十四碳酸的含量进行差异显著性分析。由表 4 可知,其中棕榈酸和硬脂酸含量较高。同一海拔地区不同品种中,7 种饱和脂肪酸含量差异不显著。棕榈酸含量以 B4A3 为最低处理,较最高处理 B2A3 降低了 28.5%;十七碳酸含量以 B1A1 和 B1A5 为较优处理,含量低至 0.02 g·100 g⁻¹;硬脂酸含量以 B3A4 为最低处理(0.89 g·100 g⁻¹),较最高处理 B2A3 降低了 32.58%;花生酸含量以 B1A1、B1A2 和 B2A2 等 9 个处理为较优处理,含量低至 0.03 g·100 g⁻¹,较最高处理 B2A3 降低了 40%;山嵛酸含量以 B3A3、B3A4 和 B4A3 为较好处理,含量低至 0.04 g·100 g⁻¹,较最高处理

B1A4、B2A2、B4A1 降低了 33.33%;豆蔻酸含量以 B1A5 为较优处理,含量低至 0.01 g·100 g⁻¹;二十四碳酸以 B1A1 等 19 个处理为较好处理,含量低至 0.03 g·100 g⁻¹。

不同海拔地区不同胡麻品种棕榈酸、十七碳酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸、豆蔻酸和二十四碳酸含量变异均方(MS)及 F 检验结果表明(表 5),棕榈酸、十七碳酸、豆蔻酸和二十四碳酸含量品种和海拔间互作效应的 F 测验均极显著($P<0.01$),硬脂酸、花生酸含量品种和海拔间互作效应均显著($P<0.05$)。

2.3 不同海拔胡麻品种不饱和脂肪酸含量差异分析

4 个不同海拔地区种植的 5 个胡麻品种内,均检测出 7 种不饱和脂肪酸,对 7 种不饱和脂肪酸含量进行差异分析,结果如表 6 所示。棕榈油酸含量以 B1A1 等 14 个处理为较优处理,含量达 0.03 g·100 g⁻¹;油酸含量以 B3A3 为最高处理,高达 6.48 g·100 g⁻¹,较最低处理 B1A5 提高了 58.82%;顺-11-二十碳一烯酸含量以 B2A2、B3A1、B4A1 和 B4A4 为最优处理,含量达 0.05 g·100 g⁻¹;亚油酸含量以 B2A2 为最高处理,高达 4.64 g·100 g⁻¹,较最低处理 B1A5 提高了 54.15%;γ-亚麻酸含量以 B1A4、B2A1、B2A2、B2A4 和 B2A5 为最高处理,其含量高达 0.08 g·100 g⁻¹;α-亚麻酸含量以 B1A4 为最高处理,高达 20.50 g·100 g⁻¹,较最低处理 B4A3 提高了 93.4%;顺-11,14,17-二十碳三烯酸含量以 B1A4、B2A1 等 9 个处理为最高处理,其含量高达 0.04 g·100 g⁻¹。

对不同海拔地区不同胡麻品种棕榈油酸、油酸、顺-11-二十碳一烯酸、亚油酸、γ-亚麻酸、α-亚

表 3 张掖市不同海拔地区胡麻品种各常规品质指标地点×品种互作效应分析
Table 3 Analysis on site × variety interaction effect of different nutritional components of flax varieties in different altitudes areas of Zhangye

变异来源	DF	蛋白质		粗脂肪		膳食纤维		灰分		钙	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
地点	3	46.223	182.458 **	4.922	23.438 **	29.562	145.387 **	0.785	8.416 **	0.460	4.927 **
品种	4	3.383	13.353 **	16.340	77.811 **	11.565	56.877 **	0.215	2.306	0.021	0.223
地点×品种	12	4.709	18.589 **	10.593	50.444 **	11.947	58.756 **	0.519	5.563 **	0.018	0.190
误差	40	0.253		0.210		0.203		0.093		0.093	

注: * 和 ** 分别表示互作效应在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平有统计学意义。

表 4 张掖市不同海拔地区胡麻品种饱和脂肪酸含量分析

Table 4 Analysis of saturated fatty acid content of flax variety in Zhangye with different altitude

处理		棕榈酸 /(g·100g ⁻¹)	十七碳酸 /(g·100g ⁻¹)	硬脂酸 /(g·100g ⁻¹)	花生酸 /(g·100g ⁻¹)	山嵛酸 /(g·100g ⁻¹)	豆蔻酸 /(g·100g ⁻¹)	二十四碳酸 /(g·100g ⁻¹)
B1	A1	1.88aA	0.02bAB	1.09abAB	0.03bA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A2	1.75aA	0.03aA	0.98bB	0.03abA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A3	1.75aA	0.03aA	1.27aA	0.04abA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A4	2.09aA	0.03aA	1.26aA	0.04aA	0.06aA	0.02aA	0.03aA
	A5	1.79aA	0.02bB	1.11abAB	0.03bA	0.05aA	0.01aA	0.03aA
	平均值	1.85	0.03	1.14	0.03	0.05	0.02	0.03
	变异系数/%	7.73	21.07	10.75	16.11	8.60	24.85	0.00
B2	A1	1.97abA	0.03aA	1.19aA	0.04abA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A2	2.09aA	0.03aA	1.15aA	0.03bA	0.06aA	0.02aA	0.03aA
	A3	2.14aA	0.03aA	1.32aA	0.05aA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A4	2.00abA	0.03aA	1.18aA	0.03bA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A5	1.79bA	0.03aA	1.17aA	0.04abA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	平均值	2.00	0.03	1.20	0.04	0.05	0.02	0.03
	变异系数/%	6.75	0.00	5.62	22.02	8.60	0.00	0.00
B3	A1	2.01aA	0.03aA	1.10aA	0.04aA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A2	1.98aA	0.03aA	1.08abA	0.03bA	0.05aA	0.02aA	0.03aA
	A3	1.94aA	0.03aA	1.14aA	0.04aA	0.04bA	0.02aA	0.03aA
	A4	1.76bA	0.03aA	0.89bA	0.03bA	0.04bA	0.02aA	0.03aA
	A5	1.91aA	0.03aA	1.05abA	0.03bA	0.05abA	0.02aA	0.03aA
	平均值	1.92	0.03	1.05	0.03	0.05	0.02	0.03
	变异系数/%	5.06	0.00	9.15	16.11	11.91	0.00	0.00
B4	A1	1.92aA	0.03aA	1.22aA	0.04aA	0.06aA	0.02aA	0.04aA
	A2	1.83aA	0.03aA	0.99bA	0.03abB	0.05abA	0.02aA	0.03aA
	A3	1.53bA	0.03aA	1.11abA	0.04aA	0.04bA	0.02aA	0.03aA
	A4	1.87aA	0.03aA	1.18abA	0.04aA	0.05bA	0.02aA	0.03aA
	A5	1.90aA	0.03aA	1.12abA	0.04aA	0.05bA	0.02aA	0.03aA
	平均值	1.81	0.03	1.12	0.04	0.05	0.02	0.03
	变异系数/%	8.85	0.00	7.77	11.77	14.14	0.00	13.98

注：同列数据后不同大、小写字母分别表示差异在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平有统计学意义。

表 5 不同海拔地区胡麻品种饱和脂肪酸含量地点×品种互作效应分析

Table 5 Analysis of site × variety interaction effect of saturated fatty acid content of flax varieties in different altitudes areas of Zhangye

变异来源	DF	棕榈酸		十七碳酸		硬脂酸		花生酸		山嵛酸		豆蔻酸		二十四碳酸	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
地点	3	0.102	4.352 *	0.000 04	7.444 **	0.057	5.724 **	0.000 03	1.444	0.000 04	1.136	0.000 01	3.167 *	0.000 01	3.167 *
品种	4	0.028	1.197	0.000 02	3.833 *	0.041	4.054 **	0.000 11	5.500 **	0.000 01	0.159	0.000 01	4.500 **	0.000 01	4.500 **
地点×品种	12	0.064	2.763 **	0.000 02	3.833 **	0.023	2.303 *	0.000 05	2.278 *	0.000 02	0.644	0.000 03	9.833 **	0.000 03	9.833 **
误差	40	0.023 00		0.000 01		0.010 00		0.000 02		0.000 04		0.000 00		0.000 003	

注：* 和 ** 分别表示互作效应在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平有统计学意义。

麻酸和顺-11,14,17-二十碳三烯酸含量变异均方 (MS) 及 F 检验结果分析表明 (表 7), 油酸和 α -亚麻酸含量存在地点、品种、地点×品种交互作用 ($P<0.01$)。

表 6 张掖市不同海拔地区胡麻品种不饱和脂肪酸含量($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) 分析
Table 6 Analysis unsaturated fatty acid content ($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) of flax variety in Zhangye with different altitude

处理		棕榈油酸	油酸	顺-11-二十 碳一烯酸	亚油酸	γ -亚麻酸	α -亚麻酸	顺-11,14,17- 二十碳三烯酸
B1	A1	0.03aA	4.12aA	0.04aA	3.27abA	0.07aA	18.30bB	0.02aA
	A2	0.02aA	4.33aA	0.03aA	3.92aA	0.07aA	16.20cC	0.03aA
	A3	0.02aA	4.44aA	0.03aA	3.99aA	0.06aA	14.20dD	0.03aA
	A4	0.03aA	4.8aA	0.04aA	3.49abA	0.08aA	20.50aA	0.04aA
	A5	0.03aA	4.08aA	0.03aA	3.01bA	0.07aA	17.80bB	0.03aA
	平均值	0.03	4.35	0.03	3.54	0.07	17.40	0.03
	变异系数/%	21.07	6.66	16.11	11.86	10.10	13.56	23.57
B2	A1	0.03aA	4.34bB	0.04aA	3.31bB	0.08aA	18.50aA	0.04aA
	A2	0.03aA	4.77bAB	0.05aA	4.64aA	0.08aA	18.90aA	0.04aA
	A3	0.03aA	5.91aA	0.04aA	4.45aAB	0.06aA	15.90bB	0.03aA
	A4	0.03aA	4.40bB	0.04aA	3.54bAB	0.08aA	19.40aA	0.04aA
	A5	0.03aA	4.47bB	0.03aA	3.44bAB	0.08aA	19.30aA	0.04aA
	平均值	0.03	4.78	0.04	3.88	0.08	18.40	0.04
	变异系数/%	0.00	13.69	17.68	15.99	11.77	7.84	11.77
B3	A1	0.03aA	4.62bB	0.05aA	3.57aA	0.07aA	19.10aA	0.04aA
	A2	0.03aA	5.06bB	0.04aA	3.59aA	0.07aA	19.20aA	0.04aA
	A3	0.02aA	6.48aA	0.04aA	4.10aA	0.05aA	14.10cC	0.02aA
	A4	0.02aA	4.18bB	0.03aA	4.06aA	0.06aA	16.50bB	0.03aA
	A5	0.03aA	4.57bB	0.04aA	3.34aA	0.07aA	19.10aA	0.03aA
	平均值	0.03	4.99	0.04	3.73	0.06	17.60	0.03
	变异系数/%	21.07	17.94	17.68	8.92	13.98	12.87	26.15
B4	A1	0.03aA	5.58abA	0.05aA	3.70abA	0.07aA	17.00bB	0.03aA
	A2	0.02aA	4.96bA	0.04aA	4.35aA	0.07aA	16.30bB	0.03aA
	A3	0.02aA	5.99aA	0.04aA	3.40bA	0.04aA	10.60cC	0.02aA
	A4	0.03aA	5.84abA	0.05aA	3.52abA	0.07aA	17.30bB	0.04aA
	A5	0.03aA	5.6abA	0.04aA	3.53abA	0.07aA	19.50aA	0.04aA
	平均值	0.03	5.59	0.04	3.70	0.06	16.14	0.03
	变异系数/%	21.07	7.04	12.45	10.24	20.96	20.57	26.15

注：同列数据后不同大、小写字母分别表示差异在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平有统计学意义。

表 7 张掖市不同海拔地区胡麻品种不饱和脂肪酸含量地点×品种互作效应分析
Table 7 Analysis on site × variety interaction effect of unsaturated fatty acid content of flax varieties
in different altitude areas of Zhangye

变异来源	DF	棕榈油酸		油酸		顺-11-二十碳 一烯酸		亚油酸		γ -亚麻酸		α -亚麻酸		顺-11,14,17- 二十碳三烯酸	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
地点	3	0.000 05	1.867	3.992	19.011 **	0.000 09	1.087	0.292	1.391	0.000 05	0.308	13.133	42.366 **	0.000 01	0.231
品种	4	0.000 01	0.233	2.314	11.020 **	0.000 06	0.730	1.370	6.526 **	0.000 04	0.250	53.425	172.338 **	0.000 01	0.192
地点× 品种	12	0.000 03	1.033	0.694	3.304 **	0.000 06	0.770	0.357	1.702	0.000 10	0.564	5.990	19.322 **	0.000 04	0.551
误差	40	0.000 03		0.210		0.000 08		0.210		0.000 17		0.310		0.000 07	

注：* 和 ** 分别表示互作效应在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平有统计学意义。

2.4 不同海拔胡麻品种必需脂肪酸含量差异分析

为更好的揭示胡麻品种综合营养品质,对不同海拔地区胡麻品种必需脂肪酸(油酸、亚麻酸、 γ -亚麻酸和 α -亚麻酸)含量进行综合分析。根据表6可知,甘州区乌江镇5个胡麻品种必需脂肪酸介于17.89%~22.77%之间,依次为:张亚2号>5-9812-2-1>09-3-11>9813-1-2-1>陇亚10号;高台县巷道镇5个胡麻品种必需脂肪酸变幅为19.34%~20.93%,依次为:9813-1-2-1>张亚2号>09-3-11>陇亚10号>5-9812-2-1;民乐县六坝镇5个胡麻品种必需脂肪酸变幅为18.75%~21.17%,依次为:9813-1-2-1>5-9812-2-1>09-3-11>张亚2号>陇亚10号;民乐县三堡镇5个胡麻品种必需脂肪酸变幅为15.71%~22.51%,依次为:09-3-11>张亚2号>5-9812-2-1>9813-1-2-1>陇亚10号。

根据表6可知,甘州区乌江镇 α -亚麻酸、油酸和亚油酸3种不饱和脂肪酸分别占不饱和脂肪酸总量的68.37%、17.09%、13.91%;高台县巷道镇 α -亚麻酸、油酸和亚油酸3种不饱和脂肪酸分别占不饱和脂肪酸总量的67.52%、17.54%、14.24%;民乐县六坝镇分别占66.47%、18.84%、14.09%;民乐县三堡镇分别占63.07%、21.84%、14.46%。

3 讨论

胡麻具有耐瘠薄、耐旱、耐寒、喜凉爽等特点,甘肃省具有较大的气候资源优势,发展前景较好^[16],而且胡麻籽中含有蛋白质、膳食纤维等多种营养成分^[17],具有可观的经济价值。本研究表明,蛋白质、粗脂肪、膳食纤维的地点、品种、地点 $\times$ 品种互作效应均极显著,且5个胡麻品种膳食纤维含量介于22.20~29.80 g $\cdot$ 100 g⁻¹之间,蛋白质含量在20.00%~26.60%之间。禹晓等^[18]的研究表明,胡麻籽中蛋白质含量变幅为25.95%~34.27%,其高于本研究的测定结果,这可能与品种本身的特性有关,也可能与气候、土壤和水质等自然条件有关系。

人体摄入过多的饱和脂肪酸可使三酰甘油、血胆固醇和低密度脂蛋白增多,导致动脉粥样硬化,进而增大冠心病的患病风险^[19]。廖丽萍等^[4]的研究表明,内蒙古亚麻籽油中饱和脂肪酸的相

对含量较低,10个不同地区亚麻籽油中,软脂酸和硬脂酸平均值为10.48%;而新疆和甘肃不同地区的亚麻籽油中,软脂酸和硬脂酸平均值分别为11.54%和11.02%。本研究发现,5个胡麻品种在4个不同海拔地区的饱和脂肪酸含量差异不显著,其中棕榈酸含量最高为2.14 g $\cdot$ 100 g⁻¹,硬脂酸含量最高为1.32 g $\cdot$ 100 g⁻¹,山嵛酸含量最高为0.06 g $\cdot$ 100 g⁻¹,十七碳酸、花生酸、豆蔻酸、二十四碳酸含量稳定在0.02~0.03 g $\cdot$ 100 g⁻¹之间,说明5个胡麻品种在张掖市4个地区种植,所产的胡麻油中饱和脂肪酸含量均较低,但棕榈酸、十七碳酸、豆蔻酸和二十四碳酸含量品种和海拔间互作效应呈极显著($P<0.01$),硬脂酸、花生酸含量品种和海拔间互作效应呈显著($P<0.05$),因此,胡麻生产应综合考虑品种和环境因素。

α -亚麻酸和 γ -亚麻酸分属2个家族, α -亚麻酸的衍生物为二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(decosahexaenoic acid, DHA),而 γ -亚麻酸进一步的衍生物为花生四烯酸^[20-23]。张掖市甘州区乌江镇种植的张亚2号品种 α -亚麻酸含量位居参试品种之首,达20.50 g $\cdot$ 100 g⁻¹;高台县种植的张亚2号、民乐县六坝镇种植的9813-1-2-1和民乐县三堡镇种植的09-3-11品种 α -亚麻酸含量在同地区5个品种内均最高,分别为19.40、19.20和19.50 g $\cdot$ 100 g⁻¹;当品种的 α -亚麻酸含量最高时,其 γ -亚麻酸含量也最高。初步表明,胡麻中 α -亚麻酸和 γ -亚麻酸的合成由2个不同的基因控制,推测这2个基因有一定的连锁关系,确切的连锁程度或2个基因之间的重组值有待进一步的试验中研究。

与菜籽油、大豆油和葵花籽油等大宗油料相比,胡麻籽油中 α -亚麻酸含量明显高于亚油酸含量^[5,12,14]。廖丽萍等^[4]的研究表明,新疆、内蒙和甘肃三产地,胡麻籽油中亚油酸含量较低(14.65%~15.13%),而亚麻酸(46.98%~53.53%)含量却较高。李高阳和肖霖^[24]对产自宁夏银川的亚麻籽油进行测定表明,亚麻酸、油酸、亚油酸含量平均值分别为49.05%、22.34%、13.73%。本研究发现,张掖市4个不同地区种植的5个胡麻品种,亚麻籽油中亚麻酸的平均含量在62.99%以上, α -亚麻酸含量约是亚油酸含量的5倍,大部分品种 α -亚麻酸含量是油酸含量的3倍之多。上述不同研究者报道的测定结果不一

致,可能与胡麻产地和品种差异有关,但这些结果都表明,胡麻油中 α -亚麻酸含量占绝对优势。

在高含油量育种目标的基础上,兼顾高 α -亚麻酸、油酸和亚油酸三大主要不饱和脂肪酸、低棕榈酸和硬脂酸两大饱和脂肪酸以及高蛋白质等其他品质育种目标的角度考虑,张掖市甘州区最适宜种植的胡麻品种是 5-9812-2-1,高台县和民乐县三堡镇最适宜种植的胡麻品种是 09-3-11,民乐县六坝镇最适宜种植的胡麻品种是张亚 2 号。张掖市甘州区、高台县、民乐县六坝镇和三堡镇 4 个地区可作为优质亚麻籽油生产地,具有较强的地域优势,在亚麻籽脂肪酸品质育种和亚麻籽油食药开发等方面具有较大的发展前景。

参 考 文 献

- [1] 祁旭升,王兴荣,许军,等. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087.
- [2] 刘秦,姚正良. 白粒亚麻新品种张亚 2 号选育报告[J]. 甘肃农业科技, 2008(5): 3-4.
- [3] 廖丽萍,肖爱平,冷鹃,等. 不同品种亚麻籽脂肪酸含量的 GC-MS 分析[J]. 中国麻业科学, 2014, 36(2): 68-71.
- [4] 廖丽萍,肖爱平,冷鹃,等. 不同产地亚麻籽冷榨油脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. 中国麻业科学, 2018, 40(5): 234-238.
- [5] 张东,薛雅琳,段章群,等. 牡丹籽油和亚麻籽油化学组成分析与比较[J]. 中国油脂, 2017, 42(10): 34-38.
- [6] 袁利文. 植物油主要脂肪酸含量的分析[J]. 中国检验检疫, 2018, 26(1): 18-21.
- [7] SUN X M, ZHANG L X, LI P W, *et al.*. Fatty acid profiles based adulteration detection for flaxseed oil by gas chromatography mass spectrometry[J]. Food Sci. Technol., 2015, 63(1): 430-436.
- [8] 孙佳,胡彦,丁友芳,等. 马鲁拉油与 6 种植物油理化性质、脂肪酸组成、营养物质比较[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 38-41.
- [9] 林凤英,林志光,邱国亮,等. 亚麻籽的功能成分及应用研究进展[J]. 食品工业, 2014, 35(2): 220-223.
- [10] 吴俏瑾,杜冰,蔡尤林,等. 亚麻酸的生理功能及开发研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 86-90.
- [11] 赵利,党占海,李毅,等. 亚麻籽的保健功能和开发利用[J]. 中国油脂, 2006, 31(3): 71-74.
- [12] 谢冬微,赵德宝,杨学,等. 不同类型亚麻种质资源脂肪酸组分相关及变异特点分析[J]. 中国麻业科学, 2015, 37(4): 173-177.
- [13] 赵利,党占海,张建平,等. 不同类型胡麻品种资源品质特性及其相关性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 6-9.
- [14] 任我行,刘玉兰,徐建国. 不同工艺制取亚麻籽油的品质差异分析[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(1): 3-7.
- [15] 杨天庆,牛俊义. 氨基酸配方有机肥对胡麻生长和籽粒产量及品质的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(8): 1632-1641.
- [16] 蒲金涌,邓振镛,姚小英,等. 甘肃省胡麻生态气候分析及种植区划[J]. 中国油料作物学报, 2004(3): 38-43.
- [17] BOUAZIZ F, KOUBAA M, BARBA F J, *et al.*. Antioxidant properties of water-soluble gum from flaxseed hulls[J]. Antioxidants, 2016, 5(26): 1-10.
- [18] 禹晓,黄沙沙,程晨,等. 不同品种亚麻籽组成及抗氧化特性分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(6): 879-888.
- [19] 马志敏,王吉云. 饮食与心血管疾病预防中的热点问题研究[J]. 中国全科医学, 2016, 19(36): 4423-4427.
- [20] HAMBERG M. Biosynthesis of prostaglandin E1 by human seminal vesicles[J]. Lipids, 1976, 3(11): 249-250.
- [21] HASSALL C H, KIRTLAND S J. Dihomo- γ -linolenic acid reverses hypertension induced in rats by diets rich in saturated fat[J]. Lipids, 1984, 9(19): 699-703.
- [22] HASSAM A G, CRAWFORD M A. The incorporation of orally administered radiolabeled dihomogamma-linolenic acid into rat tissue lipids and its conversion to arachidonic acid[J]. Lipids, 1978, 11(13): 801-803.
- [23] CAO J M, BLOND J P, JUANEDA P, *et al.*. Effect of low levels of dietary fish oil on fatty acid desaturation and tissue fatty acids in obese and lean rats[J]. Lipids, 1995, 9(30): 825-832.
- [24] 李高阳,肖霖. 亚麻籽油中脂肪酸成分的 GC-MS 分析[J]. 食品与机械, 2005, 21(5): 30-32.