

中国新育油用亚麻品种(系)木酚素含量研究

赵利^{1,2,3}, 牛俊义¹, 党占海^{2,3}, 李毅⁴, 谢小龙⁴, 关天霞⁵, 田彩萍⁶

(¹甘肃农业大学生命科学技术学院, 兰州 730070; ²中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; ³甘肃省农业科学院作物研究所, 兰州 730070; ⁴中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810000; ⁵甘肃省华龙农业开发总公司, 兰州 730000; ⁶甘肃省肿瘤医院, 兰州 730050)

摘要: 【目的】研究中国新育油用亚麻品种(系)木酚素含量与基因型和地点的关系。【方法】用高效液相色谱(HPLC)测定11个油用亚麻品种(系)2005、2006年在4个代表性试点的木酚素含量。【结果】11个亚麻品种(系)88点次木酚素含量变幅为6.487~13.127 mg·g⁻¹, 以97047平均含量最高, 伊04的最低; 4个地点中以河北坝上点最高, 新疆伊犁点最低。方差分析表明, 基因型、地点以及基因型×地点互作效应对木酚素含量的影响均达到1%显著水平。不同品种(系)木酚素含量的稳定性存在明显差异, 以97047和伊04的稳定性好。【结论】基因型是影响木酚素含量的首要因子, 品种选育是提高木酚素含量的首选措施。不同品种有不同的适种地区, 参试品种(系)中97047为木酚素含量高且适应性广泛的品种(系)。

关键词: 油用亚麻(*Linum usitatissimum* L.); 木酚素含量; 基因型; 地点; 稳定性

Evaluation of Lignan Contents of Newly Bred Flax Varieties (Lines) in China

ZHAO Li^{1,2,3}, NIU Jun-yi¹, DANG Zhan-hai^{2,3}, LI Yi⁴, XIE Xiao-long⁴, GUAN Tian-xia⁵, TIAN Cai-ping⁶

(¹College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; ²Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062; ³Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070; ⁴Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001; ⁵Gansu Hualong Exploitation Corporation of Agriculture, Lanzhou 730000; ⁶Gansu Tumor Hospital, Lanzhou 730050)

Abstract: 【Objective】 This study is to determine the relative contributions of genotypes and the interactions between genotype and location on variation of lignan contents in flaxseeds. 【Method】 Using HPLC, lignan contents of eleven flax varieties planted at four representative locations in 2005 and 2006 were determined. 【Result】 The results showed that lignan contents ranged from 6.487 to 13.127 mg·g⁻¹ of 11 varieties planted in 88 locations. The highest content was found in line 97047, and the lowest in line Yi 04. In the four locations tested, Bashang in Hebei Province gave the highest total lignan contents, and the lowest contents were from those grown in Yili of Xinjiang. Genotype, location and interactions between genotype and location have significant influence on variation in lignan contents in all varieties. The stability of lignan content in different varieties also differed significantly. Lines 97047 and Yi 04 showed high stability. 【Conclusion】 Genotype is the most important factor that affects the lignan content in flaxseed, therefore it would allow for an improvement of lignan contents by breeding. Different varieties have different feasible planting areas. Line 97047 contains the highest lignan content among all varieties tested. It is also adapted to a wide range of flax planting areas.

Key words: flax (*Linum usitatissimum* L.); lignan content; genotype; location; stability

0 引言

【研究意义】木酚素(lignan)是存在于亚麻籽种

皮中的一种生理活性物质, 结构与人体雌激素十分相似^[1]。许多谷物中都含有木酚素, 但以亚麻籽中的含量最高(亚麻种子中SDG(开环异落叶松树脂酚二葡

收稿日期: 2008-03-23; 接受日期: 2008-06-26

基金项目: 甘肃省油料作物创新团队项目(甘科财[2006]49号)

作者简介: 赵利(1973—), 女, 陕西武功人, 副研究员, 研究方向为油用亚麻遗传育种。Tel: 0931-7614943; Fax: 0931-7612856; E-mail: zhaoli@mails.gucas.ac.cn。通信作者党占海(1955—), 男, 甘肃会宁人, 研究员, 研究方向为作物遗传育种。Tel: 0931-7614942; Fax: 0931-7612856; E-mail: dangzh1955@yahoo.com.cn

葡萄糖苷)占1%~4% (W/W)^[2],其含量是其它66种食品的75~800倍)^[3]。研究表明,木酚素具有抗肿瘤、抗有丝分裂、抗病毒、抗癌、抑癌、抗心血管疾病、预防糖尿病、抗动脉硬化及抗衰老等作用^[4-14],在开发功能食品、保健品、药品、化妆品、饲料等领域应用广泛^[1,15-19]。作为一种颇具开发前景的物质,许多研究者致力于不断改进化学提纯方法^[20-23],以最大限度地提取亚麻籽中的木酚素,但这种方法的改进毕竟有限。笔者试图通过育种及栽培技术的改进从根本上提高其在亚麻籽中的含量。因此,了解木酚素在不同基因型间和不同种植地点的含量变化意义重大。木酚素含量为数量性状,表现为连续变异,从理论上讲,除主要受遗传因子控制外,还受环境条件的影响。【前人研究进展】Johnsson等^[24]用HPLC分析了14个瑞典亚麻品种和15个丹麦亚麻品种,指出木酚素SDG在脱脂亚麻籽中的含量为11.7~24.1 mg·g⁻¹,在整粒亚麻籽中的含量为6.1~13.3 mg·g⁻¹。Eliasson等^[20]研究了生长在瑞典南部的10个亚麻品种(系)和中部的17个品种,结果表明这些品种中(+)-SDG的含量为11.9~25.9 mg·g⁻¹,(-)-SDG的含量为2.2~5.0 mg·g⁻¹。Thompson等^[25]研究了亚麻籽木酚素在品种、种植地点、收获年份及播种时间等方面的含量变化,结果表明品种(测试品种木酚素含量的变幅为0.96~3.15 μmol·g⁻¹)和种植地点都对木酚素含量有极显著影响,收获年份只对参试品种linott有极显著影响,而播种时间对木酚素含量没有影响。Westcott等^[26]研究了亚麻籽木酚素在品种、种植地点及年份间的含量变化情况,表明测试品种木酚素含量为13.6~23.1 mg·g⁻¹,木酚素含量变化主要取决于年份,其次是品种。【本研究切入点】但有关基因型和种植地点对油用亚麻木酚素含量的影响国内未见报道。本研究选用中国新育成的11个油用亚麻品种(系)2005、2006年在4个代表性生态点的种子,测定其木酚素含量。

【拟解决的关键问题】研究基因型和环境对亚麻木酚素含量的影响,以及木酚素含量在不同环境条件下的稳定性,为高木酚素含量的品种选育、品质改良、推广应用和合理布局提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

田间试验于2005、2006年分别在甘肃兰州、新疆伊犁、宁夏固原和河北坝上4个有代表性的油用亚麻生态点进行,室内试验在中国科学院兰州化学物理研

究所进行。

1.2 试验材料

以各油用亚麻育种单位参加2005、2006年度全国区域试验的11个品(种)系为材料(表1)。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 各试点均采用随机区组试验设计,3次重复、10行区,小区面积13.34 m²,行距20 cm,行长6.67 m,每公顷播量900万粒。栽培管理同大田。木酚素含量测定参照Christina Eliasson 2003方法^[18],采用“直接碱解法”进行样品前处理,用Waters高效液相色谱仪测定含量。

1.3.2 精密仪器和药品规格 本研究室内使用HPLC仪器为Waters高效液相色谱仪,包括δ600 E 四元梯度泵,2996 二极管阵列检测器,Millennium³² 色谱工作站。乙腈为色谱纯,J&K CHEMICAL LTD.;水为重蒸水;甲醇、正己烷、冰醋酸、硫酸、氢氧化钠为分析纯。

1.3.3 统计分析 揭示基因型效应、环境效应(年份、试点、年份×试点)和基因型×环境互作效应(基因型×年份、基因型×试点)对木酚素含量的影响。环境、品种作用力用下式计算:环境作用力(%)=环境变量(平方和)/总变量(总平方和)×100;品种作用力(%)=品种变量(平方和)/总变量(总平方和)×100。方差分析和稳定性分析由DPS统计分析软件^[27]进行。

2 结果与分析

2.1 亚麻不同基因型在不同环境下的性状表现

不同品种2005和2006年度在不同生态点木酚素含量见表1。

2.1.1 品种间木酚素含量的差异 表1表明,2年4个地点不同品种木酚素平均值的变化范围为7.158~11.38 mg·g⁻¹,其中97047含量最高,伊04含量最低。最高的为最低的1.59倍。不同品种间木酚素含量差别很大。含量较高的品种还有:89092、9425W-25;含量较低的品种还有95053和8815-6。

而且同一年同一地点内,不同品种(系)木酚素含量存在着明显差异。如2005年在宁夏点,木酚素含量最低的品种(伊04)仅为6.909 mg·g⁻¹,而最高的(97047)却达到了13.127 mg·g⁻¹,最高的为最低的1.90倍。其它3个地点的差异也基本类似。可见在同一年度同一地点内不同品种木酚素含量之间差异很大,品质育种潜力可观。

表 1 不同基因型在不同年份和不同生态点木酚素含量

Table 1 Different genotype's Lignan content of different genotypes in different years and different locations ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)

品名 Variety	地点 Location										平均 Average	差异显著性 Significant test	
	新疆伊犁		甘肃兰州		宁夏固原		河北坝上		平均			5%	1%
	Yili, Xinjiang		Lanzhou, Gansu		Guyuan, Ningxia		Bashang, Hebei		Average				
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006			
97047	10.998	10.627	10.768	9.815	13.127	12.618	11.916	11.173	11.702	11.058	11.380	a	A
89092	11.618	10.404	11.049	10.125	11.010	11.270	12.179	11.510	11.464	10.827	11.145	a	A
9425W-25-11	10.948	10.247	9.620	9.545	12.965	12.382	10.044	9.714	10.894	10.472	10.683	b	B
坝亚 11 号 Baya 11	10.364	9.970	9.656	8.782	10.802	10.441	11.034	10.395	10.464	9.897	10.180	c	C
陇亚 8 号 Longya 8	7.520	7.203	10.049	10.488	10.245	9.960	12.039	12.340	9.963	9.998	9.980	c	C
92328	9.465	9.842	9.640	9.730	9.490	9.750	9.486	8.584	9.520	9.477	9.498	d	D
9650-2	8.430	8.536	10.723	11.125	8.433	8.763	9.456	9.977	9.261	9.600	9.430	d	D
01J68	7.260	7.290	9.221	8.816	8.650	9.650	11.520	10.845	9.163	9.150	9.156	e	E
95053	8.767	9.483	7.664	6.908	7.677	8.064	11.259	11.320	8.842	8.944	8.893	f	EF
8815-6	8.253	7.979	8.749	8.193	8.803	7.873	10.051	9.702	8.964	8.437	8.700	f	F
伊 04 Yi 04	6.681	6.877	7.105	6.726	6.909	6.487	8.220	8.260	7.229	7.088	7.158	g	G
平均 Average	9.119	8.951	9.477	9.114	9.828	9.751	10.655	10.347	9.770	9.541	9.655		
	9.034		9.295		9.789		10.501						

表中平均值分别为该品种两年在 4 个生态点的平均值

Means present the average value of the variety two years in the sites of all location, respectively

2.1.2 地点间木酚素含量的差异 所有参试品种 2 年在 4 个地点木酚素的平均含量变幅为 $9.034\sim 10.501\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，平均为 $9.655\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。4 个试点中，河北坝上点含量最高，宁夏固原点次之，新疆伊犁点含量最低。11 个品种 2 年度 88 点次中，木酚素含量最低和最高的均出现在宁夏，分别为 $6.487\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $13.127\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

另外，同一品种在不同的地点，木酚素的含量也不尽相同。如在 4 个地点中平均含量最高的 97047，两年在甘肃兰州的平均含量为 $10.292\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，而在宁夏固原平均为 $12.873\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，其含量比兰州的高出 25.1%。其它品种的情况类似。这说明木酚素含量随生态环境的变化而变化，不同的生态点对品种（系）的木酚素含量有一定影响。因此，因地制宜选择优良品种进行种植，可以改善油用亚麻品质。

2.1.3 不同年份间木酚素含量的差异 2005 年所有参试品种在 4 个生态点的平均含量分别为：新疆伊犁： $9.119\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ；甘肃兰州： $9.477\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ；宁夏固原： $9.828\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ；河北坝上： $10.655\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。2006 年在 4 个生态点的平均含量依次为： $8.951\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $9.114\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $9.751\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $10.347\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。同样，同一品种在同一地点 2 年间木酚素含量也明显不同，表明木酚素含量在不同年份间品种含量差异较大。

2.2 基因型、年份和地点对木酚素含量的影响

方差分析（表 2）表明，木酚素含量在地点间、基因型间及年份间的差异均达极显著水平；除地点×年份差异不显著外，基因型×年份、地点×基因型、地点×基因型×年份均达极显著水平。并且在各因子的独立效应中，基因型对亚麻木酚素含量的作用力最大，占总方差的 52.12%，远远大于地点的作用力（12.30%）和年份作用力（0.57%），表明木酚素变异的主要原因是基因型的差异。互作效应中，以地点×基因型互作效应最大，占总方差的 30.66%，地点×年份互作均方最小，占总方差的 0.09%。各互作效应的影响中，地点×基因型>年份×地点×基因型>年份×基因型>年份×地点。由此可以看出，对木酚素含量来说，由基因型决定的变异程度远大于环境引起的变异，且存在显著的地点×基因型互作效应。说明基因型是影响木酚素含量的主要因子，但生态因子对木酚素含量的影响也不容忽视。

2.3 品种（系）木酚素含量的稳定性

由于油用亚麻的木酚素含量受基因型和地点的影响，而且存在明显的基因型×地点的互作效应，因此对木酚素的稳定性分析就显得十分重要。植物育种家常通过基因型对环境指数的回归分析来评价基因型的

表 2 参试品种方差分析结果及作用力比较

Table 2 Variance analysis of lignan content in flaxseed of tested varieties and comparison of percentage of variance explained

变异来源 Variation sources	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	F	作用力 Affecting force(%)
点内年内区组间 Intercept	8	0.83335	0.10417		
年份间 Years	1	2.54161	2.54161	31.26968**	0.57
地点间 Location	3	54.66937	18.22312	128.6552**	12.30
基因型间 Genotype	10	231.6075	23.16075	44.95053**	52.12
地点×年份 Location×Years	3	0.42493	0.14164	1.74265	0.09
基因型×年份 Genotype×Years	10	5.1525	0.51525	6.33918**	1.16
地点×基因型 Location×Genotype	30	136.2179	4.5406	21.33212**	30.66
地点×基因型×年份 Location×Genotype×Years	30	6.38557	0.21285	2.61875**	1.44
误差 Error	80	6.50242	0.08128		
总计 Total variation	175	444.3351			

**为 0.01 差异显著水平 ** indicate significant difference at 1% level

稳定性, 并以回归系数 b 值作为基因型或性状稳定性的评价指标。

根据 Eberhart-Russell 模型, 参试品种除 89092 和 92328 外, 所有品种的 S_{di}^2 均达显著或极显著水平(表 3), 说明木酚素含量对环境反应敏感。品种(系)97047 和伊 04 的稳定性系数 (b) 显著接近 1, 表明它们对环境反应迟钝, 在不同环境中含量差异小而稳定性好。而且, 品种(系)97047 还具有高木酚素含量, 因此, 97047 为典型的效益型品种, 即在低投入条件下具有较好的含量, 在优良生产条件下可获得更高的含量, 而伊 04, 其木酚素含量虽然比较稳定但其含量很低, 属典型的低含量且具稳产特性的品种类型。其余的如:

9425W-25、坝亚 11 号、陇亚 8 号、9650-2、01J68、95053 和 8815-6 的 b_i 值偏离 1 很大(特别是陇亚 8 号和 01J68), 表明这些品种(系)木酚素含量的稳定性不理想, 对环境反应敏感, 在不同环境中含量差异大, 但在有利环境条件下具有较大的含量潜力, 应根据对木酚素含量的需求, 选择相适宜的区域推广种植。

各品种的回归离差差异显著性测验表明, 品种(系)89092 和 92328 差异不显著, 说明该品种(系)用该文的线性回归模型预测的准确度较低; 而其余品种除 8815-6 达显著差异水平外均达极显著差异, 表明这些品种(系)与环境互作的关系存在线性关系, 比较稳定, 能利用回归方程对品种(系)进行预测, 用该文模型预测的准确度较高。

表 3 亚麻不同基因型木酚素含量稳定性测定结果

Table 3 Stability of lignan contents of different flax varieties

编号 No.	品种(系) Line (variety)	平均含量 Average content	回归系数 b_i Regression coefficient	t	线性回归离差 S_{di}^2 Linear regression deviation
2	97047	11.38	0.8681	0.1447	0.0001**
10	89092	11.15	0.7011	0.3277	0.0649
5	9425W-25	10.68	0.0291	1.0645	0.0001**
7	坝亚 11 号 Baya11	10.18	0.6933	0.3363	0.0001**
1	陇亚 8 号 Longya8	9.98	2.7295	1.8963	0.0001**
4	92328	9.50	-0.4316	1.5696	0.4698
6	9650-2	9.43	0.1444	0.9381	0.0001**
8	01J68	9.15	2.3475	1.4774	0.0001**
11	95053	8.89	1.862	0.9451	0.0001**
3	8815-6	8.70	1.1145	0.1255	0.0092*
9	伊 04 Yi04	7.16	0.9422	0.0634	0.0021**

3 讨论

本研究表明,木酚素含量在品种、种植地点和年份间均存在极显著差异,而且品种的作用力最大,占50%以上,其次是种植地点,而种植年份的作用力较小。除种植年份与Thompson^[25]的结论有些出入外,关于品种和种植地点的结论均一致,但与Westcott^[26]等结论明显不同,这可能与参试品种及种植地点的生态因子不同有关。

基因型与环境条件互作也是影响亚麻木酚素含量的重要因素,如:基因型×地点的作用力高达30%以上,这种互作是造成品种在不同环境条件下含量差异的重要原因,而且这种互作程度直接决定品种对不同环境的适应性,致使相同的品种在不同的地点种植木酚素的含量有很大的差异,这为油用亚麻品种的种植区划和生产基地的建立提供了理论依据。

本文采用2005—2006年4个地点的试验结果为依据对参试品种木酚素含量变化及其稳定性做初步评价,但由于不同地点的气候、土壤类型等生态因子不同,且年间也有所不同,因此,具体哪种生态因子对木酚素含量的影响最大,有待进一步研究。

4 结论

(1)影响亚麻木酚素含量的主要因子是基因型效应,其次是基因型×地点互作,再次是地点效应。因此品种选育是提高木酚素含量的首选措施。

(2)对不同亚麻品种木酚素含量的测定及分析表明,所有参试品种中,97047的木酚素含量最高且稳定性好,是生产木酚素较理想的品种,可作为高木酚素含量的品种在各地大面积推广种植。且在本研究的4个生态点,河北坝上点的木酚素含量高,变异系数小,可作为高木酚素含量的生产基地。

致谢:感谢中国科学院兰州化学物理研究所的师彦平教授、陈娟博士、刘霞博士在化学分析方面提供的帮助与指导。

References

- [1] 赵利,党占海,李毅,亚麻木酚素研究进展,中国农学通报,2006,22(4):88-93.
Zhao L, Dang Z H, Li Y. Research progress on flax lignan. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(4): 88-93. (in Chinese)
- [2] Jan Frank, Christina Eliasson, Diane Leroy-Nivard, Alicja Budek, Torbjorn Lundh, Bengt Vessby, Per Aman and Afaf Kamal-Eldin.

- Dietary secoisolariciresinol diglucoside and its oligomers with 3-hydroxy-3-methyl glutaric acid decrease vitamin E level in rats. *British Journal of Nutrition*, 2004, 92: 169-176.
- [3] 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,2006,27(6):147-149.
Huang H L, Zhang S H. The nutritional substances of flaxseed and the application in food industry. *Food Research and Exploitation*, 2006, 27(6): 147-149. (in Chinese)
- [4] MacRae W D, Towers G H N. Biological activities of lignans. *Phytochemistry*, 1984, 23(6): 1207-1220.
- [5] Jenab M, Thompson L U. The influence of flaxseed and lignans on colon carcinogenesis and β -glucuronidase activity. *Carcinogenesis*, 1996, 17(6): 1343-1348.
- [6] Thompson L U, Chen Jim, Tan K P, Brooks J, Hilditch J, Goss P. Flaxseed, lignans and breast cancer: an update. Proc. 59th Flax Institute of the United States Fargo, ND, Flax Institute of the United States, 2002: 47-51.
- [7] Morton M S, Chan P S F, Cheng C, Blacklock N, Matos-Ferreira A, Abranches-Monteiro L, Correia R, Lloyd S, Griffiths K. Lignans and isoflavonoids in plasma and prostatic fluid in men: samples from Portugal, Hong Kong, and the United Kingdom. *The Prostate*, 1997, 32: 122-128.
- [8] Adlercreutz H. Phyto-oestrogens and cancer. *The Lancet Oncology*, 2002, (3): 364-373.
- [9] Prasad K. Oxidative stress as a mechanism of diabetes in diabetic BB prone rats: Effect of secoisolariciresinol diglucoside (SDG). *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2000, 209: 89-96.
- [10] Prasad K. Secoisolariciresinol diglucoside from flaxseed delays the development of type 2 diabetes in Zucker rat. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 2001, 138: 32-39.
- [11] Prasad K. Reduction of serum cholesterol and hypercholesterolemic atherosclerosis in rabbits by secoisolariciresinol diglucoside isolated from flaxseed. *Circulation*, 1999, 99: 1355-1362.
- [12] 周治海.谷物食品抗癌保健作用.粮食与油脂,2000,(6):40-41.
Zhou Z H. Anticancer health care function on corn foods. *Foodstuff and Oil*, 2000, (6): 40-41. (in Chinese)
- [13] 胡鑫尧.亚麻种子及麻屑的综合利用.中国麻业,2003,25(5):235-238.
Hu X Y. Comprehensive utilization of flaxseed and residue. *Plant Fiber and Products*, 2003, 25(5): 235-238. (in Chinese)
- [14] Vanharanta M, Voutilainen S, Lakka T A, Lee M, Adlercreutz H, Salonen J T. Risk of acute coronary heart events according to serum concentrations of enterolactone: a prospective population-based

- case-control study. *The Lancet*, 1999, 354: 2112-2115.
- [15] 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. (in Chinese)
- [16] Hall C. Flaxseed as a functional food. Proc. 59th Flax Institute of the United States Fargo, ND, Flax Institute of the United States, 2002: 1-6.
- [17] 陈见南. 国外亚麻籽保健作用综合研究和应用近况. *中国医药情报*, 2001, 7(3): 54-56.
- Chen J N. The recent situation of flaxseed utilization and the health care function in abroad. *Chinese Medicine*, 2001, 7(3): 54-56. (in Chinese)
- [18] Renault Béatrice(FR), Catroux Philippe(FR). Use of lignans for preventing or treating the sings of ageing of the skin, WO/2004/010965.
- [19] 吴灵英. 亚麻籽及其饼在鸡饲料中的应用. *饲料工业*, 2002, 23 (3): 32-34.
- Wu L Y. Flax and it's defatted flaxseed's application on chicken feedstuff. *Feedstuff Industry*, 2002, 23(3): 32-34. (in Chinese)
- [20] Eliasson C, Kamal-Eldin A, Andersson R, Aman P. High-performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinol diglucoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction. *Journal of Chromatography A*, 2003, 1012: 151-159.
- [21] Degenhardt A, Habben S, Winterhalter P. Isolation of the lignan secoisolariciresinol diglucoside from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) by high-speed counter-current chromatography. *Journal of Chromatography A*, 2002, 943: 299-302.
- [22] Charlet S, Bensaddek L, Raynaud S, Gillet F, Mesnard F, Fliniaux M A. An HPLC procedure for the quantification of anhydro secoisolariciresinol. Application to the evaluation of flax lignan content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2002, 40(3): 225-229.
- [23] Meagher L P, Beecher G R, Flanagan V P, Li B W. Isolation and characterization of the lignans isolariciresinol and pinoresinol in flaxseed meal. Proc. 59th Flax Institute of the United States, Fargo, ND, Flax Institute of the United States, 1999: 8-15.
- [24] Johnsson P, Kamal-Eldin A, Lundgren L N, Aman P. HPLC method for analysis of secoisolariciresinol diglucoside in Flaxseeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(11): 5216-5219.
- [25] Thompson L U, Rickard S E, Cheung F, Kenaschuk E O, Obermeyer W R. Variability in anticancer lignan levels in flaxseed. *Nutrition and Cancer*, 1997, 27(1): 26-30.
- [26] Westcott N D, Muri A D. Variation in flaxseed lignan concentration with variety, location and year. Proc. 56th Flax Institute of the United States, Fargo, ND. Flax Institute of the United States: 1996: 77-85.
- [27] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2007.
- Tang Q Y, Feng M G. *DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis, and Data Mining*. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)

(责任编辑 郭银巧)