

# 东北野生大豆遗传多样性分析

孙蕾<sup>1,2</sup>, 赵洪锬<sup>2</sup>, 赵芙<sup>1</sup>, 董英山<sup>1,2</sup>

(1. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 吉林省农业科学院, 吉林 长春 130033)

**摘要:**对东北三省 15 个小区 3 069 份大豆种质资源的 11 个主要性状进行遗传多样性分析。结果表明:黑龙江省野生大豆资源的多样性指数在 0.580 ~ 0.952; 吉林省野生大豆资源的多样性指数在 0.757 ~ 0.865; 辽宁省野生大豆资源的多样性指数在 0.666 ~ 0.922。多样性最丰富的地区集中在黑龙江南部、中部及辽宁辽中地区; 而黑龙江极早熟地区的多样性较贫乏。研究表明松嫩平原东北部、三江平原及辽河平原北部为东北野生大豆遗传多样性富集区。15 个小区 11 个主要性状的多样性均以蛋白含量的多样性指数最大, 脐色和花色的多样性指数最小。东北三省野生大豆资源综合变异系数辽宁最高(35.03)、吉林次之(33.31)、黑龙江略低(30.23)。

**关键词:**野生大豆; 遗传多样性; 东北

**中图分类号:** S565.1

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2015.03.0355

## Analysis of Genetic Diversity of *Glycine soja* in Northeast China

SUN Lei<sup>1,2</sup>, ZHAO Hong-kun<sup>2</sup>, ZHAO Fu<sup>1</sup>, DONG Ying-shan<sup>1,2</sup>

(1. Agronomy College of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** Based on 15 ecological regions from Northeast China, genetic diversities of 3 069 wild soybean accessions were analyzed using 11 main phenotypic characters. The result showed that: The wild soybean diversity index of Heilongjiang varied from 0.580 to 0.952; diversity index of Jilin varieties varied from 0.757 to 0.865; diversity index in Liaoning varied from 0.666 to 0.922. The greatest diversity was found in the South and Middle Heilongjiang, and in the Middle of Liaoning; the lowest diversity was found in the region of Heilongjiang where suitable for the very early maturity soybean. According to the results, Northeast of Songnen plain, Sanjiang plain and North Liaohe plain are the enrichment region for wild soybean diversity. Extensive genetic diversity was found for protein content, and a little diversity was found for hilum color and flower color. The coefficient of variation of Liaoning, Jilin and Heilongjiang is 35.03, 33.31 and 30.23 respectively.

**Keywords:** *Glycine soja*; genetic diversity; Northeast China

一年生野生大豆 (*Glycine soja*) 是栽培大豆 (*Glycine max*) 的近缘野生种, 具有蛋白含量高、适应性广、抗逆性强、单株荚数多等优点<sup>[1]</sup>。主要分布在中国、朝鲜半岛、日本列岛和俄罗斯远东地区<sup>[2]</sup>。在我国, 除了青海、新疆和海南外, 其余省份均有野生大豆的分布<sup>[3,4]</sup>。我国学者<sup>[1]</sup>认为野生大豆在中国可能具有 3 个起源中心, 分别为东北平原(野生大豆的初生多样性中心), 黄河中下游、华北平原及黄土高原(野生大豆次生多样性中心)和西南沿海(野生大豆的再生多样性中心)。东北作为中国大豆优势产区地处 N40° ~ 50° 的大豆生产黄金产业带。东北平原生态适宜区和最适宜区, 一直以来都是中国野生大豆起源地讨论的焦点。

本研究对收集的 3 069 份东北地区野生大豆资源进行了 11 个性状的遗传多样性分析, 探讨了东北三省野生大豆起源、演变模式, 旨在为更好地应用

东北野生大豆资源提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究选用的材料和数据由中国农业科学院提供, 包括来自黑龙江(759 份)、吉林(1 062 份)、辽宁(1 248 份)的 3 069 份野生大豆资源。

### 1.2 方法

遗传多样性分析的性状包括: 叶形、主茎、茸毛色、花色、粒色、脐色、泥膜 7 个质量性状, 蛋白质含量、脂肪含量、百粒重和生育日数 4 个数量性状。

1.2.1 性状赋值 7 个质量性状分别进行规范和赋值(表 1)。4 个数量性状以 0.5 倍的标准差进行 10 级分类: 1 级  $< \bar{x} - 2s$ , 10 级  $\geq \bar{x} + 2s$ , 中间每级间隔  $0.5s$ ,  $\bar{x}$  为平均数,  $s$  为标准差<sup>[5]</sup>。

收稿日期: 2014-05-27

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31300282); 公益性行业(农业)科研专项(201003021); 吉林省种业专项。

第一作者简介: 孙蕾(1981-), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事野生大豆资源耐盐碱基因 QTL 定位研究。E-mail: blueheart\_2011@126.com。

通讯作者: 董英山(1963-), 男, 博士, 研究员, 主要从事野生大豆资源收集与利用研究。E-mail: ysdong@cjaas.com。

表1 7个质量性状赋值  
Table 1 Quantified value of 7 qualitative traits

性状 Character	赋值 Quantitate
叶形 Leaf shape	披针1, 椭圆2, 卵圆3, 线叶4
主茎类型 Stem type	明显1, 较显2, 不显3
粒色 Coat color	黄色1, 青色2, 褐色3, 黑色4, 双色5
花色 Flower color	紫色1, 白色2
脐色 Hilum color	褐色1, 黑色2, 兰色3
泥膜 Seed bloom	无1, 有2, 光3
茸毛色 Hair color	灰色1, 棕色2

1.2.2 小区划分 按照文献记载的黑龙江、吉林、辽宁各省作物栽培生态区划分标准<sup>[6-10]</sup>, 将黑龙江省划分为5个小区, 分别为南部地区、中部地区、西部地区、北部地区和极早熟地区; 将吉林省划分为6个小区, 分别为东南部山区、东部盆地、中东部低山区、中南部平原区、中北部平原区和西部干旱区; 将辽宁省分为4个小区, 分别为辽北地区、辽中地区、辽西地区和辽南地区, 各小区及其对应的品种数见表2。

表2 小区划分及对应品种数

Table 2 Material number of different regions in 3 provinces

省份 Province	市县数 City No.	材料分数 Material No.	地区 Region
黑龙江 Heilongjiang	78	759	南部
			中部
			西部
			北部
			极早熟
吉林 Jilin	47	1062	中北部平原区
			西部干旱区
			东部盆地
			中南部平原区
			中东部低山区
			东南部山区
辽宁 Liaoning	57	1248	辽中
			辽北
			辽西
			辽南

### 1.2.3 遗传多样性指数和变异系数计算

计算各数量性状的平均值、标准差和变异系数。变异系数计算公式为:  $CV = S/\bar{X}$

各省份的综合变异系数  $CV$  采用该组中所有性状变异系数的平均值。

计算公式为:  $CV = 1/m \sum_{j=1}^m S_j/\bar{x}$ , 其中  $S_j$  为第  $j$  个性状标准差,  $\bar{x}$  为第  $j$  个性状的平均数,  $m$  为小区中性状数。

利用 Shannon-Weaver 遗传多样性指数 ( $H'$ ) 评价遗传多样性<sup>[11]</sup>。

计算公式为:  $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ , 其中  $s$  为某性状的类型数,  $i$  为性状的第  $i$  个类型,  $P_i$  指第  $i$  个类型所占的比例。

各小区的遗传多样性指数  $\bar{H}'$  采用该组中所有性状遗传多样性指数的平均值。

计算公式为:  $\bar{H}' = \sum_{j=1}^m H'/m$ , 其中  $m$  为性状数,  $j$  为第  $j$  个性状。

### 1.3 数据分析

利用 GIS 软件分析 15 个小区遗传多样性指数并在地图上用不同颜色展示出来。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑龙江省野生大豆资源遗传多样性特点

在黑龙江省调查的 7 个质量性状中, 共检测到 21 个变异类型, 每个性状平均变异类型为 3 个。叶形与粒色的变异类型最丰富, 分别检测到 4 个与 5 个, 脐色、茸毛色、花色的变异类型最少, 均为 2 个, 主茎类型、泥膜的变异类型均为 3 个。黑龙江省野生大豆平均遗传多样性指数 ( $\bar{H}'$ ) 为 0.794, 其中黑龙江南部地区的遗传多样性指数最高 (0.952), 极早熟地区遗传多样性指数最低 (0.580)。质量性状中, 主茎类型的多样性指数最高 (0.932), 花色的多样性指数最低 (0.09)。数量性状中, 蛋白质含量的多样性指数最高 (1.811), 生育日数的多样性指数最低 (0.998) (表 3)。

### 2.2 吉林省野生大豆资源遗传多样性特点

在吉林省调查的 7 个质量性状中, 共检测到 20 个变异类型, 每个性状平均变异类型为 2.9 个。叶形与粒色的变异类型最丰富, 分别检测到 4 个与 5 个, 主茎类型、茸毛色、花色、脐色的变异类型最少, 均为 2 个, 泥膜的变异类型为 3 个。如表 4 所示, 吉林省野生大豆平均遗传多样性指数 ( $\bar{H}'$ ) 为 0.783, 其中吉林中北部平原区的遗传多样性指数最高为 0.865, 东南部山区的遗传多样性指数最低为 0.757。质量性状中, 脐色的多样性指数最高为 0.606, 花色的多样性指数最低为 0.142。数量性状中, 蛋白质含量的多样性指数最高为 1.817。

表 3 黑龙江省各小区野生大豆资源各性状遗传多样性指数  
Table 3 Genetic diversity index for 11 traits in Heilongjiang

地区 Region	叶形 Leaf shape	主茎类型 Stem type	茸毛色 Hair color	花色 Flower color	粒色 Coat color	脐色 Hilum color	泥膜 Seed bloom	蛋白含量 Protein content	脂肪含量 Fat content	百粒重 100-seed weight	生育日数 Growth period	$\bar{H}'$
南部 South region	1.079	1.084	0.204	0.248	0.802	0.688	0.463	1.979	1.715	1.321	0.889	0.952
中部 Middle region	1.011	1.057	0.030	0.203	0.944	0.637	0.506	1.855	1.788	1.305	1.038	0.943
西部 West region	1.127	0.956	0.397	0	0	0.669	0.413	1.901	1.432	1.186	0.648	0.793
北部 North region	0.970	0.808	0.076	0	0.201	0.558	0.131	1.742	1.179	0.713	1.320	0.700
极早熟 Very early region	0.338	0.757	0	0	0.057	0.137	0	1.579	1.597	0.827	1.094	0.580
$\bar{H}'$ 平均 Mean $\bar{H}'$	0.905	0.932	0.141	0.090	0.401	0.538	0.303	1.811	1.542	1.070	0.998	0.794

表 4 吉林省各小区野生大豆资源各性状遗传多样性指数  
Table 4 Genetic diversity index for 11 traits in Jilin

地区 Region	叶形 Leaf shape	主茎类型 Stem type	茸毛色 Hair color	花色 Flower color	粒色 Coat color	脐色 Hilum color	泥膜 Seed bloom	蛋白含量 Protein content	脂肪含量 Fat content	百粒重 100 seed weight	生育日数 Growth period	$\bar{H}'$
中北部平原区 Middle North plain region	0.546	0.475	0.257	0.236	0.405	0.635	0.509	1.853	1.605	1.159	1.839	0.865
西部干旱区 West arid region	0.367	0.500	0.440	0.168	0.530	0.630	0.440	1.720	1.173	1.167	1.380	0.774
东部盆地 East basin region	0.204	0.401	0.294	0.087	0.377	0.637	0.502	1.933	1.465	0.939	1.666	0.773
中南部平原区 Middle South plain region	0.254	0.429	0.321	0.155	0.488	0.490	0.599	1.874	1.452	0.834	1.540	0.767
中东部低山区 Middle East low mountain region	0.208	0.49	0.137	0.163	0.367	0.611	0.604	1.759	1.501	0.862	1.644	0.759
东南部山区 Southeast mountain region	0.665	0.278	0.262	0.040	0.288	0.633	0.403	1.765	1.328	0.616	2.047	0.757
$\bar{H}'$ 平均 Mean $\bar{H}'$	0.374	0.429	0.285	0.142	0.409	0.606	0.510	1.817	1.421	0.930	1.686	0.783

### 2.3 辽宁省野生大豆资源遗传多样性特点

在辽宁省调查的 7 个质量性状中,共检测到 20 个变异类型,每个性状平均变异类型为 2.9 个。叶形与粒色的变异类型最丰富,分别检测到 4 个与 5 个,主茎类型、茸毛色、泥膜、花色的变异类型最少,均为 2 个,脐色的变异类型为 3 个。如表 5 所示,辽宁省野生大豆平均遗传多样性指数( $\bar{H}'$ )为 0.815,其中辽中地区的遗传多样性指数最高为 0.922,辽南地区的遗传多样性指数最低为 0.666。质量性状中,粒色的多样性指数最高为 0.888,脐色的多样性指数最低为 0.183。数量性状中,蛋白含量的多样性指数最高为 1.899。

### 2.4 东北三省野生大豆资源地理分布

如图 1 所示,东北三省野生大豆资源最丰富的地区(区域 1)出现在黑龙江南部(0.952)、中部(0.943)和辽宁辽中地区(0.922);最不丰富的地区(区域 3)出现在黑龙江省极早熟地区即大兴安岭高寒地区(0.58);其它小区的野生大豆资源丰富度居中,由高至低顺序为辽宁省辽北地区及吉林省中北部平原区(区域 2)、吉林省西部干旱区、东部盆地、中南部平原区、中东部低山区、东南部山区、黑龙江省西部地区及辽宁辽西(区域 4,5)、黑龙江北部及辽宁南部地区(区域 6)。

表5 辽宁省各小区野生大豆资源各性状遗传多样性指数  
Table 5 Genetic diversity index for 11 traits in Liaoning

地区 Region	叶形 Leaf shape	主茎类型 Stem type	茸毛色 Hair color	花色 Flower color	粒色 Coat color	脐色 Hilum color	泥膜 Seed bloom	蛋白含量 Protein content	脂肪含量 Fat content	百粒重 100-seed weight	生育日数 Growth period	$\bar{H}'$
辽中 Middle of Liaoning	0.604	0.690	0.327	0.280	1.204	0.545	0.447	1.963	1.759	1.139	1.184	0.922
辽北 North of Liaoning	0.637	0.687	0.498	0.487	1.059	0.089	0.467	1.83	1.885	1.469	0.724	0.894
辽西 West of Liaoning	0.692	0.502	0.203	0.549	0.729	0	0.16	1.852	1.837	1.316	0.724	0.778
辽南 South of Liaoning	0.469	0.353	0.164	0.222	0.547	0.096	0.12	1.951	1.724	0.732	0.945	0.666
$\bar{H}'$ 平均 Mean $\bar{H}'$	0.601	0.558	0.298	0.385	0.888	0.183	0.299	1.899	1.801	1.164	0.894	0.815

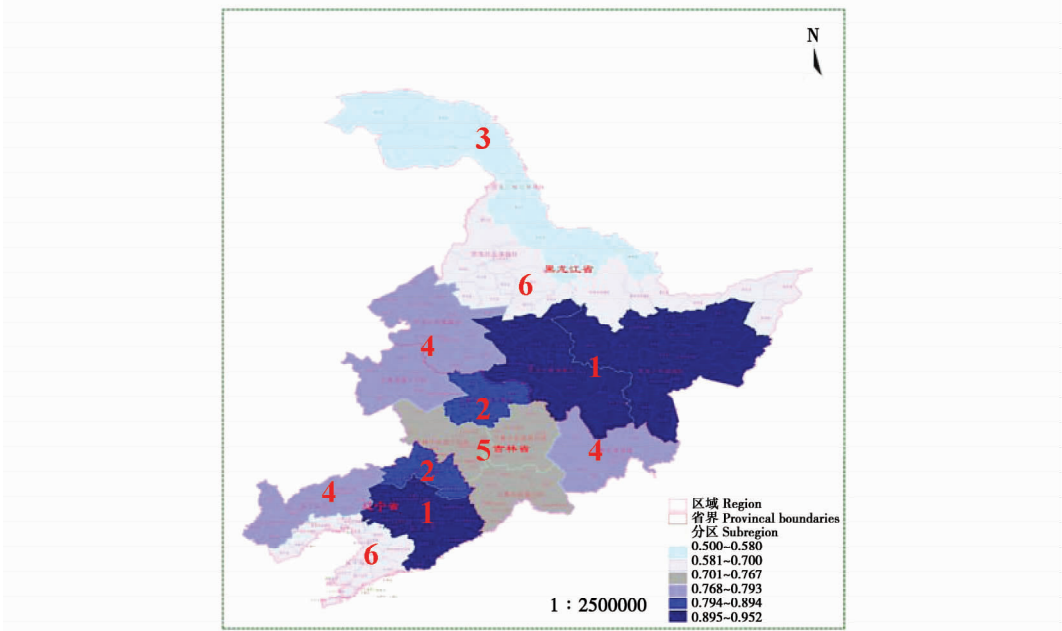


图1 东北三省野生大豆资源遗传多样性指数地理分布

Fig. 1 Geographical distribution of  $H'$  for wild soybean germplasm from Northeast China

2.5 东北三省野生大豆资源变异系数比较

由表6可知,吉林省野生大豆资源蛋白质含量的变异系数(6.19%)高于黑龙江(5.76%),低于辽宁(6.56%);脂肪含量的变异系数(29.97%)高于辽宁(29.18%),低于黑龙江(30.73%);百粒重的

变异系数(91.87%)高于黑龙江(74.7%),低于辽宁(98.77%);而生育日数的变异系数(5.2%)均低于黑龙江(9.74%)和辽宁(5.62%)。各省份的综合变异系数为辽宁最高(35.03),吉林次之(33.31),黑龙江略低(30.23)。

表6 东北三省野生大豆资源数量性状极值、平均值、标准差及变异系数

Table 6 The extremum, mean, standard deviation and coefficient of variation of the quantitative traits

省份 Province	性状 Character	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 S	变异系数 CV/%
黑龙江 Heilongjiang	蛋白质含量 Protein content /%	36.1	54.0	46.34	2.67	5.76
	脂肪含量 Fat content /%	5.0	17.8	9.62	2.96	30.73
	百粒重 100-seed weight /g	0.7	10.6	2.60	1.94	74.70
	生育日数 Growth period /d	70.0	132.0	111.13	10.82	9.74
	综合变异系数 Comprehensive CV/%					30.23

续表 6

省份 Province	性状 Character	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 S	变异系数 CV/%
吉林 Jilin	蛋白质含量 Protein content /%	35.3	55.4	47.63	2.95	6.19
	脂肪含量 Fat content /%	4.8	20.7	9.55	2.86	29.97
	百粒重 100-seed weight /g	0.5	15.0	2.31	2.12	91.87
	生育日数 Growth period /d	90.0	110.0	121.56	6.32	5.20
	综合变异系数 Comprehensive CV/%					33.31
辽宁 Liaoning	蛋白质含量 Protein content /%	32.7	52.9	45.24	2.97	6.56
	脂肪含量 Fat content /%	5.6	21.9	10.93	3.19	29.18
	百粒重 100-seed weight /g	0.7	21.5	2.83	2.79	98.77
	生育日数 Growth period /d	93.0	150.0	131.05	7.37	5.62
	综合变异系数 Comprehensive CV/%					35.03

### 3 讨 论

#### 3.1 东北三省野生大豆起源及演变趋势

理论上来说,在野生大豆的最初起源中心,拥有最丰富的遗传变异类型,而在它的非中心包含的遗传变异类型较少,即拥有较低的遗传多样性水平。对于野生植物来说,其遗传多样性中心和起源中心应该是统一的<sup>[12-15]</sup>。徐豹等<sup>[16]</sup>的研究结果支持大豆起源于我国北方,同时指出东北东部山地及西南毗邻的东北平原可能是一个重要的大豆起源。本研究首次针对东北野生大豆资源,进一步探讨了遗传多样性的分布规律,提出了松嫩平原东北部、三江平原及辽河平原北部为东北野生大豆遗传多样性丰富区域。

利用多样性指数分析遗传多样性一直是研究学者的主要选择,在各类作物中均有应用<sup>[17-18]</sup>。徐豹等<sup>[16]</sup>分析了中国野生大豆籽粒性状的遗传多样性及地理分布,庄炳昌等<sup>[19]</sup>分析了茎叶性状的遗传多样性及地理分布,这些对野生大豆遗传特征的研究不仅可以为栽培大豆育种提供宝贵的基础材料,也对拓宽栽培大豆遗传基础具有重要实践意义。本文利用来自东北三省 15 个小区 3 069 份野生大豆 11 个性状指标,分析得出黑龙江南部、中部地区遗传多样性最丰富,辽宁辽中地区遗传多样性次之,黑龙江省极早熟地区即大兴安岭高寒地区最贫乏,其它 11 个小区的遗传多样性指数均随与上述 3 个多样性丰富区的距离增加而减少。从而推断东北地区野生大豆资源的演变趋势可能由黑龙江南部、中部地区及辽宁辽中地区向四周辐射。主要传播方向为:黑龙江南部、中部地区向西南方向的吉林中北部平原区,向西至黑龙江西部、吉林西部干旱

区,向南至吉林东部盆地,向北至黑龙江北部地区;辽宁辽中地区向北至辽北,向西至辽西,向东至吉林东南部山区,向南至辽南地区。按照地理分布,遗传多样性丰富的黑龙江南部、中部及辽宁辽中地区恰处于松嫩平原北部、三江平原及辽河平原北部。该地区资源丰富,土壤养分充足,亦是目前我国栽培大豆主产区。

除遗传多样性指数外,变异系数也常常被用作推测作物的遗传多样性中心的指标<sup>[1]</sup>,通常情况下多样性中心拥有较大的变异。本文并未计算各分区的变异系数,而是分析了各省份野生大豆的变异系数,试图从另一角度推测野生大豆资源的演变趋势。按照各省份综合变异系数大小,即黑龙江 < 吉林 < 辽宁,也表明吉林省野生大豆资源的主要变异来自于黑龙江和辽宁,可以初步推测吉林野生大豆资源变异类型与辽宁和黑龙江多样性中心向四周辐射密切相关。

#### 3.2 野生大豆资源的利用

蛋白质含量、脂肪含量是大豆十分重要的品质性状,而蛋白质含量高又是野生大豆较栽培大豆具有的优势性状之一。刘忠堂<sup>[20]</sup>研究认为大豆品种中蛋白质、脂肪含量的高低有着明显的地理分布特征;李卫东等<sup>[21-24]</sup>研究表明大豆蛋白质、脂肪含量与生态因子密切相关;百粒重与脂肪含量呈极显著正相关,蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关,百粒重与蛋白质含量呈极显著负相关。这也表明了籽粒大的野生大豆有利于脂肪的积累形成,籽粒小的野生大豆有利于蛋白质的积累形成,而蛋白质和脂肪存在互相制约机制。在育种工作中,如何更好地利用野生大豆高蛋白质含量这一优势性状,明确育种目标,对栽培大豆进行品质改良,一直是科研工作不断努力的方向。

## 参考文献

- [1] 董英山,庄炳昌,赵丽梅,等. 中国野生大豆遗传多样性中心[J]. 作物学报,2000,26(5):521-527. (Dong Y S, Zhuang B C, Zhao L M, et al. The genetic diversity centers of annual wild soybean in China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(5): 521-527.)
- [2] 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.)
- [3] 董英山. 中国野生大豆研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2008,30(4):394-400. (Dong Y S. Advances of research on wild soybean in China[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008,30(4):394-400.)
- [4] 赵丽梅,董英山,刘宝,等. 中国一年生野生大豆(*Glycine soja*)核心资源构建[J]. 科学通报,2005,50(10):992-999. (Zhao L M, Dong Y S, Liu B, et al. Construction of core collections of annual wild soybean in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(10):992-999.)
- [5] 刘长友,田静,范保杰. 河北省小豆种质资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2009,10(1):73-76. (Liu C Y, Tian J, Fan B J. Genetic diversity analysis of adzuki bean germplasm in Hebei province[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2009,10(1):73-76.)
- [6] 董丽杰. 浅议辽宁省不同生态区优质大豆品种布局[J]. 杂粮作物,2006,26(6):424-425. (Dong L J. Preliminary studies on distribution of soybean varieties in different ecological areas of Liaoning province [J]. Rain Fed Crops, 2006, 26(6):424-425.)
- [7] 邱强,石一鸣,闫晓艳,等. 吉林省不同生态区专用大豆产量和品质研究[J]. 耕作与栽培,2007(6):50-51. (Qiu Q, Shi Y M, Yan X Y, et al. Research on yield and quality of soybean in different ecological areas of Jilin province [J]. Tillage and Cultivation, 2007(6):50-51.)
- [8] 陈霞,杜维广,赵贵兴,等. 黑龙江省不同生态区主栽大豆品种品质变化及评价研究初报[J]. 黑龙江农业科学,2001(1):6-7. (Chen X, Du W G, Zhao G X, et al. Preliminary studies on quality change and evaluation of major soybean varieties in different ecological areas of Heilongjiang province [J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2001(1): 6-7.)
- [9] 葛选良,史振声,李凤海. 辽宁省不同生态区玉米产量及农艺性状差异研究[J]. 玉米科学,2013,21(1):75-78. (Ge X L, Shi Z S, Li F H. Differences of yield and agronomy trait of maize in different ecological regions of Liaoning province [J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(1):75-78.)
- [10] 李文霞,李柏云,薛红,等. 黑龙江省不同生态区大豆品种育种性状的主成分分析[J]. 大豆科学,2013,32(6):731-734. (Li W X, Li B Y, Xue H, et al. Principal components analysis of breeding traits in various ecological regions in Heilongjiang province[J]. Soybean Science, 2013,32(6):731-734.)
- [11] 赵银月,保丽萍,耿智德,等. 云南省大豆地方种质资源遗传多样性的初步分析[J]. 西南农业学报,2006,19(4):591-593. (Zhao Y Y, Bao L P, Geng Z D, et al. Preliminary analysis of genetic diversity of local soybean germplasm in Yunnan [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006,19(4): 591-593.)
- [12] 张煜,李娜娜,丁汉凤,等. 野生大豆种质资源及创新应用研究进展[J]. 山东农业科学,2012,44(4):31-35. (Zhang Y, Li N N, Ding H F, et al. Research progress of wild soybean germplasm and utilization[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2012, 44(4):31-35.)
- [13] 胡志昂,王洪新. 研究遗传多样性的基本原理和方法[M]//马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社,1994:117-122. (Hu Z A, Wang H X. Basic principle and method of the genetic diversity research[M]//Ma K P. Principle and method of the biodiversity research. Beijing: Science and Technology of China Press, 1994:117-122.)
- [14] Wen Z X, Gai J Y. Genetic diversity and peculiarity of annual wild soybean (*G. soja* Sieb. et Zucc.) from various eco-regions in China [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 119: 371-381.
- [15] Ratnaparkhe M B, Singh R J, Doyle J J, et al. Glycine[M]//Kole C. Wild crop relatives: Genomic and breeding resources. Legume Crops and Forages. German:Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Press),2011:83-116.
- [16] 徐豹,徐航,庄炳昌,等. 中国野生大豆籽粒性状的遗传多样性及其地理分布[J]. 作物学报,1995,21(6):733-739. (Xu B, Xu H, Zhuang B C, et al. Polymorphism and geographical distribution of seed characters of wild soybean (*G. soja*) in China[J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(6):733-739.)
- [17] Rodegers D M, Murphy J P, Frey K J. Impact of plant breeding on the grain yield and genetic diversity of spring oats[J]. Crop Science, 1983,23:737-740.
- [18] Groth J C. The concept and measurement of phenotypic diversity in *Puccinia graminis* on wheat [J]. Phytopathology, 1987, 77: 1395-1399.
- [19] 庄炳昌,徐航,王玉民,等. 中国野生大豆茎叶性状的多态性及其地理分布[J]. 作物学报,1996,22(5):583-586. (Zhuang B C, Xu H, Wang Y M, et al. Polymorphism and geographical distribution of stem characters of wild soybean (*G. soja*) in China [J]. Acta Agronomica Sinica, 1996,22(5):583-586.)
- [20] 刘忠堂. 黑龙江省大豆推广品种脂肪、蛋白质含量地理分布的研究[J]. 大豆科学,2002,21(4):250-252. (Liu Z T. Study on the geographical distribution of the fat and protein content of soybean varieties released in Heilongjiang province[J]. Soybean Science, 2002, 21(4):250-252.)
- [21] 李卫东,卢为国,梁慧珍,等. 大豆蛋白质含量与生态因子关系的研究[J]. 作物学报,2004,30(10):1065-1068. (Li W D, Lu W G, Liang H Z, et al. Effects of eco-physiological factors on soybean protein content[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(10):1065-1068.)
- [22] 李卫东,王树峰,卢为国,等. 大豆脂肪含量与生态因子关系的研究[J]. 大豆科学,2006,25(2):127-132. (Li W D, Wang S F, Lu W G, et al. Effects of ecological factors on soybean fat content[J]. Soybean Science, 2006, 25(2):127-132.)
- [23] 张继君,张志良,陈红,等. 重庆地区野生大豆资源考察与研究[J]. 大豆科学,2010,29(1):131-135. (Zhang J J, Zhang Z L, Chen H, et al. Survey and study on the wild soybean germplasm resources in Chongqing [J]. Soybean Science, 2010, 29(1):131-135.)
- [24] 王克晶,李向华. 国家基因库野生大豆(*Glycine soja*)资源最近十年考察与研察[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(4):507-514. (Wang K J, Li X H. Exploration and studies of wild in the China Genebank Soybean Germplasm Resources during recent decade[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(4): 507-514.)