

文章编号:1001-1498(2013)04-0528-05

不同种源蒙古栎种子表型性状与 淀粉含量的变异分析*

厉月桥^{1,2}, 李迎超², 吴志庄^{3**}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;
3. 国家林业局竹子研究开发中心, 浙江 杭州 310012)

关键词: 蒙古栎; 种子; 表型性状; 淀粉含量; 种源

中图分类号: S792.18

献标识码: A

Variation in Phenotype Characters and Starch Content of *Quercus mongolica* Fisch Seed from Different Provenances

LI Yue-qiao¹, LI Ying-chao², WU Zhi-zhuang³

(1. Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: The study aims at compare and analyze the variation pattern of the phenotype characters and starch content of *Quercus mongolica* seed of different provenances. The length, width, length/width ratio, single kernel weight of *Q. mongolica* seeds from 16 natural distribution regions in China were measured and analyzed. The results showed that there were extremely significant differences among seeds from different region in seed characters. The length and width of seeds ranged from 14.76 mm to 21.08 mm and from 11.87 mm to 15.31 mm, respectively. The length/width ratio of seeds ranged from 1.21 to 1.49. The single kernel weight ranged from 0.60 g to 1.78 g and the contents of starch ranged from 4.42 g · kg⁻¹ to 5.48 g · kg⁻¹. The length of seeds has a extremely significant positive correlation with the width and weight of seed, and the width of seed had a significant positive correlation with the weight of seed. The seed width has a significant positive correlation with contents of starch. The width of seeds had a significant negative correlation with altitude, and had a positive correlation with July's mean temperature. The weight of seed had a significant positive correlation with July's mean temperature too. The correlation of the other phenotypic character and starch content of *Q. mongolica* seed to geographical climate factors was not significant. According to the results of cluster analysis, sixteen *Q. mongolica* provenances could be divided into three groups with big fruit and high starch content, middle fruit and starch content, small fruit and low starch content, in which the provenances from Dailing of Heilongjiang Province, Benxi of Liaoning Province and Dayangshu of Inner Mongolia were the superior provenances.

Key words: *Quercus mongolica*; seed; phenotype character; content of starch; provenances

收稿日期: 2011-04-20 修回日期: 2013-03-25

基金项目: 财政部林业公益性行业专项“新型木本生物质资源培育及开发利用研究”(201004001); 科技部“生物液体燃料科技工程”(NC2010MB0142)

作者简介: 厉月桥(1981—), 男, 工程师, 博士, 主要从事能源植物开发与利用研究. E-mail: 575886548@qq.com

* 致谢: 本研究是在导师王涛院士指导下完成的, 并得到了北京艾比蒂研究开发中心工作人员的大力支持, 在此深表谢意!

** 通讯作者: 副研究员, 博士, 主要从事能源植物开发与利用研究. E-mail: wzzcaf@126.com

随着能源需求持续增长和国际原油价格的不断攀升,发展可再生生物质能源已成为各国的共识^[1]。生物燃料乙醇作为汽油的第1代替代品,广受世界关注^[2]。近年来该行业迅速崛起,并掀起了以甘蔗、玉米、小麦等为原料生产燃料乙醇的工业化热潮;由此引发粮食短缺,对世界粮食安全产生了很大影响。特别是在中国耕地资源紧缺,粮食供求处于紧平衡,以玉米为原料的发展空间受到了极大的限制,为保证粮食安全,生物燃料乙醇原料多元化势在必行^[3]。目前,国内外重点研究开发的糖基或淀粉基能源植物仍以谷物、甜高粱、薯类、甘蔗、甜菜、菊芋等1、2年生的草本能源作物为主^[4-6],而对于多年生木本淀粉能源植物的开发利用研究较少^[7]。蒙古栎为壳斗科栎属植物,落叶乔木^[8],耐干燥、瘠薄,耐寒,广泛分布于我国东北大兴安岭、小兴安岭和长白山山脉,是我国北方温带森林主要的天然次生种和优势树种。蒙古栎木材材质优良、燃烧热值高,为优良的用材、薪碳树种,其枝干、叶片、壳斗和果实在食用菌培育、柞蚕饲养、栲胶提取、活性炭制作、色素提取、食品饲料加工、酿酒、纺纱和医疗保健方面都有广泛的应用^[9-10]。由于蒙古栎种子富含淀粉,其淀粉含量一般可达50%~70%,是十分具有发展潜力的优良的木本淀粉能源植物树种^[10-11]。由于蒙古栎地理分布广泛、所处环境复杂多样,种内产生了很大遗传分化^[12]。前人已对蒙古栎表型性状、等位酶、光合生理特性以及苗期生长性状的地理变异情况进行了分析^[13-17],主要以蒙古栎的生长性状遗传改良为目的,但蒙古栎作为木本淀粉能源植物,其种子品质是十分重要的指标,而关于种子表型、淀粉含量的地理变异以及种子表型性状、淀粉含量和原产地地理生态因子间相关关系研究,尚未见详细的报道。本研究拟通过对不同种源蒙古栎种子表型性状、淀粉含量地理变异进行分析、研究,揭示蒙古栎种子表型性状与淀粉含量的地理变异模式及诸因子间的相关性,以期为木本淀粉能源植物蒙古栎良种选育、种子调运及能源林建设选址提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

2010年9—11月份,在蒙古栎主要自然分布区6个省采集16个种源的种子,所采种源基本覆盖蒙

古栎天然集中分布区。各种源地理位置及主要气候因子见表1,其中,采种点温度相关指标以当地气象台站数据为依据,按海拔每升高100 m气温降低0.55℃进行校正^[18]。

所选采种林分为当地起源的天然林分,林龄>30 a。每一种源选取15株以上采种母树,母树间相距50 m以上。采种母树为林分中的优势木或亚优势木,树龄30~60 a。于种子完全成熟后,在每株母树上随机采集不低于100粒的健康种子。采种后每株母树种子分单株于烘箱105℃条件下杀青30 min,后于80℃条件下烘干至恒质量存放,用于各项指标测定。

1.2 方 法

对每个种源所采单株种子,先等量混合后,采用四分法随机选取50~200粒种子进行种长、种宽及种子单粒质量的测定,用游标卡尺进行种宽和种长的测定,精确到0.01 mm,用电子天平进行种子单粒质量测定,精确到0.01 g。

每个种源选取10~15株单株的种子,剥去种壳后,分单株测定其中种仁的淀粉含量,测定方法采用中华人民共和国国家标准(GB/T 5009.9—2003)中酸解法进行测定。

1.3 数 据 分 析

分别将各种源母树单株数据混合,用Excel软件进行基础数据的整理、统计,运用SPSS 17.0软件进行种源间方差分析和多重比较、相关分析以及进行聚类分析。

2 结 果 与 分 析

2.1 不同种源种子形态特征及淀粉含量比较

从表2可以看出:在种子表型性状方面,不同种源种长变异幅度为14.76~21.08 mm,其中黑龙江带岭种源最长,而内蒙古加格达奇种源最短,二者间相差1.43倍;种宽变幅为11.87~15.31 mm,黑龙江宝清种源最宽,内蒙古加格达奇种源最窄;种长/种宽变异幅度为1.21~1.49,辽宁宽甸种源种长/种宽比最大,内蒙古扎兰屯种源比值最小。

从蒙古栎种子品质特征方面来看,果实平均单粒质量为1.36 g,种源间变异幅度为0.60~1.78 g,其中,辽宁彰武种源单粒质量最大为1.78 g,其单粒质量可达平均单粒质量的1.31倍,而内蒙古加格达奇种源的单粒质量最小,仅为平均单粒质量的44.12%;各种源种子平均淀粉含量为4.95 g·kg⁻¹,

表1 蒙古栎采种点地理位置及主要气候因子

种源编号	东经(E)/°	北纬(N)/°	海拔/m	年均气温/°C	1月平均气温/°C	7月平均气温/°C	年均降水量/mm	无霜期/d	日照时数/h
1	116.35	40.52	1100	5.1	-12.1	19.8	534	165	2826
2	118.02	40.05	1120	4.5	-14.2	21.4	740	150	2840
3	130.42	48.33	180	1.6	-21.2	21.3	549	128	2650
4	131.87	46.13	310	3.3	-24.3	27.4	109	145	2509
5	129.22	46.93	290	1.4	-19.4	20.9	661	115	2156
6	127.57	45.30	592	2.8	-19.6	20.9	723	171	2501
7	128.25	42.50	687	2.2	-18.7	20.6	550	123	2274
8	128.24	42.49	670	2.4	-18.5	20.8	632	123	2274
9	126.70	43.71	265	4.1	-18.3	22.5	668	130	2350
10	124.15	41.13	562	2.2	-20.2	20.6	793	163	2411
11	124.78	40.93	905	3.2	-16.3	19.1	1100	140	2470
12	122.53	42.74	250	7.2	-15.3	22.1	400	150	2868
13	122.65	48.03	380	2.0	-12.8	20.5	480	120	2816
14	124.10	50.43	428	-1.2	-25.5	19.1	495	95	2482
15	124.63	49.63	318	1.0	-24.5	20.0	480	110	2439
16	123.78	49.57	364	0.7	-24.8	19.7	480	110	2439

注:1—北京延庆,2—河北兴隆,3—黑龙江萝北,4—黑龙江宝清,5—黑龙江带岭,6—黑龙江尚志,7—吉林白河林业局,8—吉林四合村,9—吉林吉林,10—辽宁本溪,11—辽宁宽甸,12—辽宁彰武,13—内蒙古扎兰屯,14—内蒙古加格达奇,15—内蒙古诺敏河,16—内蒙古大杨树,下同。

变异幅度为 $4.42 \sim 5.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 辽宁本溪种源和内蒙古大杨树种源淀粉含量最高,其淀粉含量为平均值的 110.71%,而辽宁宽甸和内蒙古加格达奇种源的淀粉含量最低,仅分别为平均淀粉含量的

91.31% 和 89.29%。

方差分析表明:不同种源蒙古栎种子在种长、种宽、种长/种宽、单粒质量和种子淀粉含量间的差异均极显著($p < 0.01$)。

表2 不同种源蒙古栎种子表型性状及淀粉含量

种源编号	长度/mm	宽度/mm	长度/宽度	单粒质量/g	淀粉含量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	18.34 ± 3.27bcd	13.41 ± 2.31bcd	1.38 ± 0.23cdef	1.46 ± 0.70ef	4.72 ± 0.29bc
2	16.99 ± 6.26bc	12.19 ± 1.73a	1.41 ± 0.52def	1.10 ± 0.40c	4.68 ± 0.31b
3	19.36 ± 2.07cdef	14.99 ± 1.27fgh	1.29 ± 0.09abcd	1.73 ± 0.67gh	4.70 ± 0.13b
4	19.18 ± 2.22cde	15.31 ± 1.85h	1.26 ± 0.16abc	1.75 ± 0.52h	5.10 ± 0.17fg
5	21.08 ± 1.95f	14.91 ± 1.11fgh	1.42 ± 0.15def	1.76 ± 0.42h	5.31 ± 0.17h
6	18.85 ± 2.24cde	13.39 ± 1.39bcd	1.41 ± 0.15def	1.18 ± 0.42cd	5.20 ± 0.10g
7	20.28 ± 2.54ef	14.20 ± 1.72def	1.44 ± 0.15ef	1.46 ± 0.58ef	4.82 ± 0.10bcd
8	17.66 ± 2.87bc	12.99 ± 1.39b	1.36 ± 0.19bcdef	1.04 ± 0.40bc	4.94 ± 0.19de
9	19.01 ± 2.17cde	14.54 ± 0.94efgh	1.31 ± 0.11abcde	1.67 ± 0.45gh	4.94 ± 0.14de
10	18.48 ± 2.14cde	15.23 ± 2.12gh	1.22 ± 0.15ab	1.54 ± 0.52fg	5.48 ± 0.20h
11	17.87 ± 2.49bcd	12.02 ± 1.22a	1.49 ± 0.15f	0.87 ± 0.32b	4.52 ± 0.19a
12	21.07 ± 2.90f	14.37 ± 1.41efg	1.48 ± 0.24f	1.78 ± 0.75h	4.86 ± 0.26cd
13	16.84 ± 1.62b	13.96 ± 1.19cde	1.21 ± 0.12a	1.29 ± 0.40de	4.92 ± 0.12de
14	14.76 ± 1.78a	11.87 ± 1.03a	1.25 ± 0.14abc	0.60 ± 0.21a	4.42 ± 0.08a
15	17.64 ± 2.28bc	13.18 ± 1.57bc	1.35 ± 0.16abcdef	1.06 ± 0.42bc	5.03 ± 0.12ef
16	19.57 ± 1.53def	13.48 ± 1.24bcd	1.46 ± 0.15f	1.30 ± 0.29de	5.48 ± 0.14h
均值	18.35 ± 3.89	13.30 ± 2.03	1.39 ± 0.29	1.36 ± 0.62	4.95 ± 0.36
F	13.67**	25.45**	4.512**	30.76**	41.33**

注:表中数据为平均值 ± 标准差。用 duncan 法进行多重比较。同列标有不同小写字母表示组间差异显著($p < 0.05$),同列标有相同小写字母表示组间差异不显著($p > 0.05$),**表示差异极显著($p < 0.01$)。

2.2 不同种源间种子性状的相关性分析

从表3可以看出:种长与种宽、单粒质量间均呈极显著正相关关系($p < 0.01$),说明随着种长的增加其种宽和单粒质量都呈极显著增加的趋势。种宽与单粒质量呈极显著正相关,种宽与淀粉含量呈显著

正相关($p < 0.05$),说明随着种子宽度的增加,种子单粒质量和淀粉含量分别表现出极显著或显著增加的趋势;而种子其它性状间相关性均未达显著性水平($p \geq 0.05$)。

表3 蒙古栎种子表型性状的相关性分析

性状	种长	种宽	种长/种宽	单粒质量	淀粉含量
种长	1.000	0.682**	0.481	0.814**	0.476
种宽		1.000	-0.310	0.915**	0.561*
种长/种宽			1.000	-0.033	-0.045
单粒质量				1.000	0.426
淀粉含量					1.000

注:* *表示差异极显著($p < 0.01$), *表示差异显著($p < 0.05$),样本数 $n > 260$,下同。

2.3 蒙古栎种子性状的地理变异规律

从表4可以看出:种宽与海拔高度呈显著负相关、与7月平均气温呈显著正相关,单粒质量与7月平均气温呈显著正相关。说明种宽随着海拔的下降和7月平均气温的增加,呈显著逐渐增加的趋势;

同时随着7月平均气温的增加,种子单粒质量也呈显著增加的趋势。种子其它性状与种子地理生态因子相关性未达显著性水平,说明这些种子性状与原产地地理生态因子间相关性较弱或没有关系。

表4 蒙古栎种子性状与地理气候因子的相关性分析

性状	东经(E)	北纬(N)	海拔	年均气温	1月平均气温	7月平均气温	年均降水量	无霜期	日照时数
种长	0.360	-0.155	-0.316	0.404	0.058	0.326	-0.137	0.232	-0.208
种宽	0.495	0.058	-0.572*	0.162	-0.091	0.578*	-0.398	0.193	-0.158
长宽比	-0.155	-0.320	0.317	0.365	0.206	-0.250	0.317	0.118	-0.055
单粒质量	0.299	-0.120	-0.417	0.452	0.138	0.584*	-0.363	0.306	0.033
淀粉含量	0.253	0.152	-0.351	-0.117	-0.300	0.196	-0.139	0.133	-0.379

2.4 不同种源种子表型性状和淀粉含量的聚类分析

以种子形态特征和淀粉含量特征为指标,对16个蒙古栎种源进行聚类分析(图1)。从图1可以看出:以欧式距离15为阈值,参试所有种源可以划分为3个类群,第1类群为大种子高淀粉含量类群,包括黑龙江带岭、辽宁本溪和内蒙古大杨树种源,本类群内各种源种子在种长、种宽及单粒质量方面均处于较高水平,其淀粉含量处于最高水平。第2类群为小果低淀粉含量类群,包括河北兴隆、辽宁宽甸和内蒙古加格达奇种源,其种子在果长、果宽、单粒质量及果实淀粉含量均处于较低水平。第3类群为中果淀粉含量类群,共包括其它10个地理种源,从总体上看,该类群内各种源在种长、种宽、单粒质量和淀粉含量方面,介于其它2个类群之间。从作为木本淀粉能源植物开发利用角度来看,种子的大果型和高淀粉含量为品质优良的重要指标。因此,第1类群中黑龙江带岭、辽宁本溪和内蒙古大杨树种源

为品质优良种源,第3类群中河北兴隆、辽宁宽甸和内蒙古加格达奇种源为品质较差种源,而其它地区种源为品质中等水平种源。

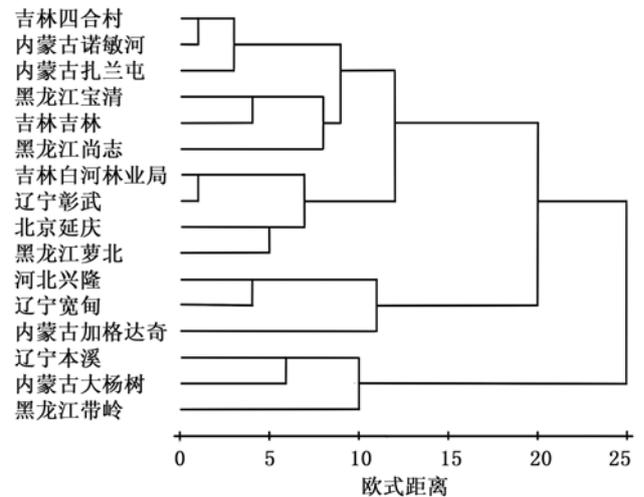


图1 蒙古栎种源种子表型性状与淀粉含量聚类图

3 结论与讨论

一个树种分布在广大地域,由于突变、隔离及自然选择等原因,分化并产生了种内有差别的地理生态种群,不同种的地理变异模式也不尽相同^[19]。本研究表明,不同种源蒙古栎种子表型性状与淀粉含量在种源间差异极显著($P < 0.01$),说明种子的这些性状已经产生了显著的地理变异。种宽与海拔高度呈显著负相关、与7月平均气温呈显著正相关,单粒质量与7月平均气温呈显著正相关;而种子的其它性状与种子地理生态因子相关性未达显著性水平。说明,蒙古栎种子表型性状和淀粉含量地理变异原因,可能更多受原产地地理、生态综合因子影响有关。

在树种良种选育过程中,要筛选到符合目标的优良种质资源,往往需要进行大批量的样品测定。实践中发现,采用目前国标法测定蒙古栎种子淀粉含量,测定准确,结果重复性好,但其测定程序较为复杂,需要较为严格实验室条件和技术要求,测定成本高,因而不易对样品进行大量测定、分析;同时,在野外选种时也不易对蒙古栎种子干物质含量的准确测定、比较。本研究表明,蒙古栎种子种长、种宽均与单粒质量呈极显著正相关关系,同时种宽与淀粉含量呈显著正相关。因此,在良种初选期,利用种子表型与品质性状间的相关性,先初步筛选出大而淀粉含量高的种子,再对初选材料进行实验室准确测定,是对蒙古栎良种选育的有效方法。对于蒙古栎种子表型与产量、品质间的相关性研究,还需要进行进一步深入的研究。

本研究表明,通过聚类分析,16个蒙古栎种源可以划分为3个类群,分别为大果高淀粉含量类群、小果低淀粉含量类群和中果中淀粉含量类群。从3个类群内各种源的地理分布位置来看,大果高淀粉含量类群和中果中淀粉含量类群中的种源位置大多数处于蒙古栎的集中分布区;而小果低淀粉含量类群多处于蒙古栎分布区的边界区域,如内蒙古加格达奇种源处于蒙古栎天然分布的西北界,是所有种源中温度最低的地区;辽宁宽甸种源处于辽东山地的东部,受海洋性气候影响,年均降水量超过1 000 mm,远远超过了其它种源区;而河北兴隆种源接近分布南界,其分布生境受到人为破坏和气候影响,而多呈岛屿状分布,种群内隔离程度相对增加。在生

长发育条件适宜的集中分布区,蒙古栎种子品质优于生长环境差的边缘分布区;因此,应在蒙古栎生长条件适宜区建立能源林基地,以利于优质、丰产。

参考文献:

- [1] Machan K M. Sustainable cultivation concepts for domestic energy production from biomass (Special issue on bioenergy) [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2001, 20 (1):1-14
- [2] 孙智谋,侯霖,张俊波. 非粮食乙醇产业化现状及展望[J]. *酿酒科技*, 2009(5):94-98
- [3] 李高扬,李建龙,王艳,等. 优良能源植物筛选及评价指标探讨[J]. *可再生能源*, 2007,25(6):84-89
- [4] Van Slycken S, Witters N, Peene A, et al. Safe use of metal-contaminated agricultural land by cultivation of energy maize (*Zea mays*) [J]. *Environmental Pollution*, 2013, 178:375-380
- [5] Meki M N, Snider J L, Kiniry J R, et al. Energy sorghum biomass harvest thresholds and tillage effects on soil organic carbon and bulk density [J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 43:172-182
- [6] González-García S, Bacenetti J, Negri M, et al. Comparative environmental performance of three different annual energy crops for biogas production in Northern Italy [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 43:71-83
- [7] 厉月桥,汪泽军,刘亚丽,等. 北京延庆蒙古栎天然群体种实性状变异[J]. *林业科技开发*, 2013, 26(6):24-26
- [8] 郑万钧. 中国树木志(第二卷) [M]. 北京:中国林业出版社,1985
- [9] 端木圻. 我国栎属资源的综合利用[J]. *河北林学院学报*, 1994, 9(2):177-181
- [10] 谢碧霞,谢涛. 我国橡实资源的开发利用[J]. *中南林学院学报*, 2002, 22(3):37-41
- [11] 谢光辉. 非粮生物质原料体系研发进展及方向[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6):1-19
- [12] 张杰,吴迪,汪春蕾,等. 应用 ISSR-PCR 分析蒙古栎种群的遗传多样性[J]. *生物多样性*, 2007, 15(3):292-299
- [13] 李文文. 蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch.) 种源变异及无性繁殖研究[D]. 北京:中国林业科学研究, 2010
- [14] 李文英,顾万春. 蒙古栎天然群体等位酶遗传多样性研究[J]. *林业科学研究*, 2003, 16(3):269-276
- [15] 张杰,汪春蕾,杨传平,等. 硝酸还原酶和可溶性蛋白对东北三省蒙古栎种源生长性状的影响[J]. *哈尔滨师范大学自然科学学报*, 2005, 21(3):93-98
- [16] 陈晓波,王继志. 蒙古栎种源选择试验研究[J]. *北华大学学报:自然科学版*, 2010, 11(5):437-444
- [17] 屈红军,孟庆彬,张忠林,等. 蒙古栎苗期种源分析[J]. *植物研究*, 2013, 33(2):166-173
- [18] 王九龄,刘晶岚. 白皮松分布区的气候区划[J]. *林业科学*, 1999, 35(4):101-106
- [19] 王明麻. 林木遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 2001