

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201606009

引文格式: 张启迪, 邓娇, 梁成刚, 等. 甜荞不同品种不同海拔地区种子蛋白组分含量研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(4):524-532
ZHANG QD, DENG J, LIANG CG, et al. Analysis of protein components in different cultivars of common buckwheat planted in different altitude areas [J].
Guihaia, 2017, 37(4):524-532

甜荞不同品种不同海拔地区种子蛋白组分含量研究

张启迪, 邓娇, 梁成刚, 陈庆富*

(贵州师范大学 荞麦产业技术研究中心, 贵阳 550001)

摘要: 该研究通过分析甜荞 10 个品种在 4 个不同海拔栽培的种子蛋白质组分(清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白)的含量变异,以揭示不同荞麦品种之间以及不同栽培地点甜荞种子蛋白组分的变异规律。结果表明:在所有甜荞品种种子蛋白组分含量中清蛋白>谷蛋白>球蛋白>醇溶蛋白。其中,种植于海拔最低的内蒙古通辽的甜荞种子平均球蛋白含量最高(1.081%),而种植于海拔1 450 m 的河北甜荞谷蛋白平均含量最高(2.805%);海拔2 620 m 的青海甜荞清蛋白平均含量为 4.750%,而在海拔最高的西藏日喀则收获的甜荞种子的醇溶蛋白最高(平均为 0.393%)。另外,蒙 0530 在 4 个地区的平均种子清蛋白和谷蛋白含量都最高,而球蛋白含量最高的品种是赤甜荞 1 号,定甜荞 2 号的种子醇溶蛋白含量最高。双因素方差分析表明,种子清蛋白含量品种间变异达极显著水平,不同地点间的种子醇溶蛋白含量达极显著水平,而地点和品种两个因素对种子球蛋白含量和谷蛋白含量的变异都有极显著影响。相关性分析表明,赤甜荞 1 号的醇溶蛋白含量与海拔呈显著正相关,蒙 0530 的球蛋白含量与海拔呈显著负相关,其他品种蛋白组分与海拔的相关性不显著。该研究结果对于甜荞优质品种培育和栽培以及推广都有一定的指导意义。

关键词: 甜荞, 种子蛋白组分, 蛋白质含量, 变异

中图分类号: Q949.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)04-0524-09

Analysis of protein components in different cultivars of common buckwheat planted in different altitude areas

ZHANG Qi-Di, DENG Jiao, LIANG Cheng-Gang, CHEN Qing-Fu*

(*Research Center of Buckwheat Industry Technology, Guizhou Normal University, Guiyang, 550001, China*)

Abstract: In order to reveal the change laws of seed protein components among different varieties and among different regions, we studied seed protein components (albumin, globulin, prolamin and glutelin) of ten buckwheat species cultivated in four altitude areas. The results showed that the protein component contents in all the buckwheat cultivars were albumin > glutelin > globulin > prolamin. Among four different altitude areas, the highest protein component content of buckwheat seeds in average was 4.750% of albumin in Qinghai (alt. 2 620 m) 1.081% of globulin in Inner Mongolia with the lowest altitude, 0.393% of prolamin in Shigatse, Tibet, and 2.805% of glutelin in Zhangjiakou, Hebei, respectively. Moreover, on a statistical average, the variety Meng 0530 had the highest albumin and glutenin contents, Chitianqiao 1 had the highest

收稿日期: 2016-08-25 修回日期: 2016-09-14

基金项目: 国家燕麦荞麦现代农业产业技术体系专项项目(CARS-08-A4);国家自然科学基金(31471562,31171609);贵州省高层次创新型人才培养对象千百千计划项目(2014GZ97588),贵州省荞麦工程技术研究中心项目(黔科合农G字[2015]4003号)[Supported by Earmarked Fund for China Agriculture Research System(CARS-08-A4); National Natural Science Foundation of China(31471562,31171609); High-level Innovative Talents Training Program in Guizhou(2014GZ97588); Research Center of Buckwheat Engineering and Technology in Guizhou([2015]4003)]。

作者简介: 张启迪(1992-),女,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向为植物遗传、进化及育种,(E-mail)1062162576@qq.com。

***通信作者:** 陈庆富,博士,教授,博士生导师,研究方向为荞麦遗传育种研究,(E-mail)cqf1966@163.com。

globulin content and Dingtianqiao 2 had the highest prolamin content. The variance analysis with two factors showed that there were highly significant differences of albumin contents among the different buckwheat varieties, and significant differences of prolamin contents among the different planted sites, and that both of the varieties and planted areas had significant effects on the contents of globulin and glutelin. And the correlation analysis showed that there were significant correlations of altitude with the prolamin content in Chitianqiao 1, and significant negative correlation with the globulin content in Meng 0530, but other protein component contents did not show any significant correlation with altitude. The above results are helpful to guide the common buckwheat breeding and cultivation and extension.

Key words: common buckwheat, seed protein components, protein content, variation

荞麦 (buckwheat) 为蓼科 (Polygonaceae) 荞麦属 (*Fagopyrum* Mill) 植物, 主要有甜荞 (*F. esculentum*) 和苦荞 (*F. tartaricum*) 两个栽培种。其中, 甜荞的分布范围较广, 世界上大多数国家都有种植, 在我国主要是北方地区如内蒙古、甘肃、青海等地有大面积种植。苦荞的分布区域较窄, 我国的西南地区为其主要的种植区, 如贵州、云南、四川等山区 (陈庆富, 2012)。荞麦种子中含有多种保健成分, 如类黄酮、D-手性肌醇、多肽及多种矿物质等, 故荞麦是一种天然保健食品, 食用荞麦食品有降血糖、降血压、抗氧化等功效, 可以有效地预防如高血压、糖尿病、肠癌等常见疾病 (尹礼国和钟耕, 2004; 周小理和黄琳, 2010)。在种子的子叶或糊粉层中, 含有特定的蛋白质, 是种子最主要的活性成分之一, 按照其溶解性, 可以分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白 4 个主要成分 (刘拥海等, 2006)。

对荞麦种子蛋白质及其组分含量的研究有很多, 如 Radovic et al (1996) 通过蔗糖密度梯度离心把甜荞球蛋白分为组分 I、II 和 III, 分别占 75%、15% 和 10%。Zheng et al (1997) 的研究表明, 荞麦种子具有高含量的清蛋白和球蛋白, 低含量的醇溶蛋白和谷蛋白, 其蛋白更接近于豆类植物蛋白。荞麦种子蛋白的氨基酸组成平衡合理, 含人体所必需的 8 种氨基酸, 与人的营养需求相适合, 有降低人体胆固醇、抗衰老、减少人体脂肪积累等功能 (陈庆富, 2012; 尹礼国和钟耕, 2004; 周小理和黄琳, 2010)。而种子蛋白质含量与生长环境的研究很少, Radovic et al (1999) 发现清蛋白占全部盐溶蛋白的 25%, 但在缺硫条件下生长的荞麦, 所占比例显著下降。在荞麦领域的相关研究中, 大多只涉及少数品种, 没有针对不同品种在不同栽培区的比较研究。本研究拟通过 4 个不同海拔地区栽培的 10 个甜荞品种的种子蛋白质组分的含量研究, 为荞麦种子蛋白组分含量与环境的关系研究以及荞麦品质育种提供指导。

1 材料与方 法

1.1 材料

本研究的材料为 2014 年全国荞麦展示品种。采用随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 20 m²。分别从 4 个栽培地点各选取 10 个甜荞品种, 其品种名及编号、栽培地点等信息见表 1 和表 2。

1.2 方法

1.2.1 种子处理 选取大小一致的成熟种子, 用镊子手工剥去种子壳 (不破坏糊粉层), 研磨成细粉备用。

1.2.2 蛋白质提取 称取荞麦种子粉末 0.5 g, 采用顺序提取法, 先用 0.01 mol · L⁻¹ Tris-HCl 溶液 (pH7.5) 提取清蛋白, 在种子粉里加 3 mL 提取液, 涡旋混匀, 再用超声波提取 5 min, 4 °C, 971×g 离心 10 min, 吸取上清液, 最后在沉淀里加入 1.5 mL 提取液, 同上步骤重复提取 2 次, 合并上清液并定容至 6 mL。此后, 在沉淀中分别加入 0.01 mol · L⁻¹ Tris-HCl (pH7.5), 0.5 mol · L⁻¹ NaCl 溶液提取球蛋白, 60% 正丙醇溶液提取醇溶蛋白, 用 0.5% 酒石酸钠、0.24% 硫酸铜、1.68% KOH、50% 正丙醇的混合溶液提取谷蛋白, 提取步骤同清蛋白 (Padhye, 1979)。

1.2.3 蛋白含量测定 采用 Bradford 法, 先绘制清蛋白标准曲线, 取 7 个 4 mL 离心管, 依次加入 1.0 mg · mL⁻¹ 的标准蛋白质溶液: 0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 钪 SymbolmA@L, 用清蛋白提取液补充到 100 钪 SymbolmA@L, 各离心管分别加入 3.0 mL Bradford 工作液, 充分混匀。待 10 min 后, 用紫外分光光度计测定各样品在 595 nm 处的吸光值, 重复测定 3 次取平均值。在 Excel 工作表中, 绘制标准曲线。另取 4 mL 离心管, 加待测样品清蛋白溶液 10 钪 SymbolmA@L, 用清蛋白提取液补充到 100 钪 SymbolmA@L, 加入 3.0 mL Bradford 工作液, 同上在分光光度计上读出吸光值, 代入标准曲线, 计算出清

表 1 供试材料品种及其编号

Table 1 Materials for cultivars and their numbers

序号 Serial number	编号 Code	品种 Cultivar	供种单位 Supplier
1	TQ-1	赤甜荞 1 号 Chitianqiao 1	内蒙古赤峰市农牧科学研究院 Animal Husbandry and Veterinary Research Institute, Chifeng
2	TQ-2	宁荞 1 号 Ningqiao 1	宁夏固原市开发区 Ningxia Guyuan Development Zone
3	TQ-3	荞杂 2 号 Qiaoza 2	陕西榆林农校 Yulin Agricultural School
4	TQ-4	定甜荞 2 号 Dingtianqiao 2	甘肃定西农业科学研究院 Dingxi Research Institute of Agri- cultural Sciences
5	TQ-5	蒙 0530 Meng 0530	内蒙古农牧业科学院作物育种 与栽培研究所 Institute of Crop Breeding and Culti- vation, Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry
6	TQ-6	定甜荞 3 号 Dingtianqiao 3	甘肃定西农业科学研究院 Dingxi Research Institute of Agri- cultural Sciences
7	TQ-7	信农 1 号 Xingnong 1	宁夏固原市开发区 Ningxia Guyuan Development Zone
8	TQ-8	蒙 0208 Meng 0208	内蒙古农牧业科学院作物育种 与栽培研究所 Institute of Crop Breeding and Culti- vation, Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry
9	TQ-9	通荞 1 号 Tongqiao 1	内蒙古农科院乌兰察布试验站 Inner Mongolia Academy of Agri- cultural Sciences, Wulanchabu Experimental Station
10	TQ-10	荞杂 1 号 Qiaoza 1	陕西榆林农校 Yulin Agricultural School

表 2 供试材料栽培地点及海拔

Table 2 Cultivation sites and altitude on varieties

序号 Serial number	编号 Code	栽培地点 Cultivation site	海拔 Altitude (m)
1	D1	内蒙古通辽市农科院 Tongliao City, Inner Mongolia Academy of Agricultural Sciences	203
2	D2	河北省农林科学院张家口分院 Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Zhangjiakou Branch	1 450
3	D3	青海省畜牧兽医科学院 Qinghai Academy of Animal Husbandry and Veterinary Research Institute	2 620
4	D4	西藏自治区农牧科学院 Tibet Academy of Agricultural and Ani- mal Husbandry	3 300

蛋白的含量。球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白的含量测定步骤同上(唐新科等,2008)。

1.2.4 数据处理与分析 用 Excel 2013 和 SPSS17.0 及 Graphpad Prism 6 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同甜荞品种在不同地区栽培的种子总蛋白含量的变异

对所测得的 4 种组分蛋白含量进行累加,得到了粗略的种子总蛋白含量,并分析了 10 个甜荞品种在 4 个不同海拔栽培地区的种子总蛋白含量(图 1)。图 1 结果表明,在青海鲁沙尔(D3)栽种的蒙 0530(TQ-5)的种子总蛋白含量最高,但不超过 9%,而在内蒙古通辽(D1)栽种的定甜荞 2 号(TQ-4)的种子总蛋白含量最低,在 5%左右。

4 个栽培地区中,在青海鲁沙尔(D3)除了定甜荞 3 号(TQ-6)和荞杂 1 号(TQ-10)外,其他 8 个品种甜荞的种子荞麦种子总蛋白含量最高。而蒙 0530(TQ-5)、信农 1 号(TQ-7)和通荞 1 号(TQ-9)在西藏日喀则(D4)种子总蛋白含量最低,定甜荞 3 号(TQ-6)在内蒙古通辽(D1)和西藏日喀则(D4)种子总蛋白含量相当,则其他 6 个品种在内蒙古通辽(D1)的种子总蛋白含量都是最低的(图 1)。由此可见,同一个品种在不同地区的种子蛋白含量是有差异的,而总体上海拔太高或太低,种子蛋白含量会降低。而即使是同一个海拔高度的栽培地区,不同品种的甜荞的种子蛋白含量也有差异。

2.2 不同甜荞品种在不同地区栽培的种子组分蛋白含量的变异

为进一步探究不同栽培区甜荞种子蛋白组分的差异,首先对 10 个品种甜荞种子各组分蛋白含量按栽培区分组,用软件 Graphpad Prism 6 做箱图(图 2)。从总体上讲,种子清蛋白含量最高,其次是谷蛋白,接着是球蛋白,而醇溶蛋白的含量最低。甜荞种子清蛋白含量最高的栽培区是青海鲁沙尔(D3),其次是河北张家口(D2),且在内蒙古通辽(D1)栽种的甜荞种子清蛋白含量分布范围最广,表明该区各品种甜荞含量相差较大。种子球蛋白含量在青海鲁沙尔(D3)的含量最低,但相对较为集中,而其他 3 个地区的含量则相差不大。另外,4 个栽培区 10 个甜荞品种的种子醇溶蛋白含量均低于 0.6%,但含量分布很集中。种子谷蛋白含量主要集中在 2.0%~

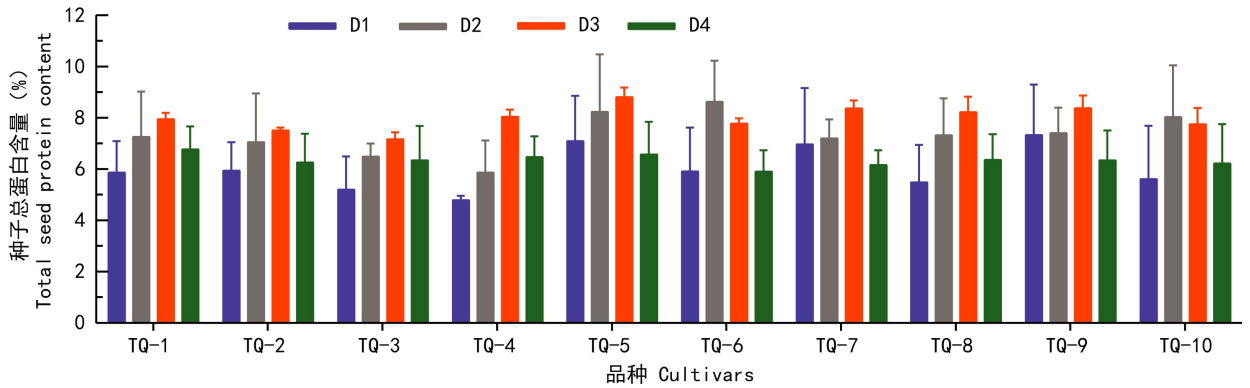


图 1 10 个甜荞品种在 4 个栽培地区的种子总蛋白含量

Fig. 1 Total seed protein contents of ten buckwheat varieties in four cultivation sites

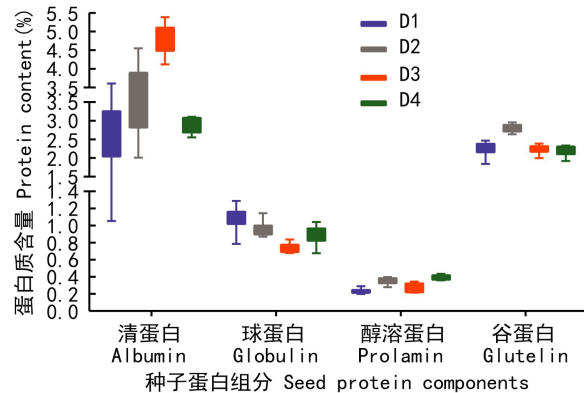


图 2 在 4 个栽培地区下的荞麦种子各组分蛋白含量

Fig. 2 Contents of seed protein components from buckwheat in four cultivation sites

3.5%之间,其中河北张家口(D2)收获的种子谷蛋白含量最高,其他3个地区则相当(图2)。

再进一步按种子4种主要蛋白组分进行分类统计,10个甜荞品种的种子清蛋白含量的变动在1.053%~5.390%之间,跨度为4个百分点。在4个栽培地区中,青海鲁沙尔(D3)栽培的甜荞平均种子清蛋白含量最高为4.750%,且变异系数为8.385%,在4个地区中离散程度最低;而内蒙古通辽(D1)栽培的甜荞平均种子清蛋白含量仅有2.466%,变异系数为31.763%,在4个地区中离散程度最高。10个甜荞品种平均种子清蛋白含量从高到低分别为蒙0530(TQ-5)>通荞1号(TQ-9)>定甜荞3号(TQ-6)>信农1号(TQ-7)>荞杂1号(TQ-10)>蒙0208(TQ-8)>赤甜荞1号(TQ-1)>宁荞1号(TQ-2)>荞杂2

号(TQ-3)>定甜荞2号(TQ-4)。其中,蒙0530(TQ-5)的最高(为3.946%),定甜荞2号(TQ-4)最低(为2.622%)。而10个品种中变异系数最高的是定甜荞2号(TQ-4),其变异范围为1.053%~4.604%,离散程度最高;变异系数最小的是通荞1号(TQ-9),变异范围为2.818%~4.899%,离散程度最低(表3)。这与图1中种子总蛋白含量的栽培地区分布一致,亦与图2中清蛋白含量范围大体一致,说明种子清蛋白含量作为种子中含量最多的蛋白组分。通过比较各地区种子清蛋白含量的多少可以得出种子总蛋白含量的高低排布,但就具体的某个品种而言,其品种间的差异较大。

球蛋白含量的地区分布与清蛋白相比,正好相反,10个品种的平均种子球蛋白含量最高的地区是内蒙古通辽(D1),含量高达1.081%;而青海鲁沙尔(D3)平均种子球蛋白含量最低,仅0.741%。但内蒙古通辽(D1)变异范围为0.785%~1.288%,变异系数为13.596%,离散程度最高,品种间差异大;而青海鲁沙尔(D3)变异范围为0.678%~0.837%,变异系数为7.150%,离散程度是最低的(表4)。这与清蛋白的变异趋势一致,说明为得到高含量球蛋白或清蛋白的甜荞,在内蒙古适合栽种的品种较少,如在内蒙古通辽(D1)栽种的赤甜荞1号(TQ-1)的种子球蛋白含量最高(1.288%),而在青海可选择的品种相对较多。

由表5可知,甜荞平均种子醇溶蛋白含量根据多重比较可以分为4组:含量最高的栽培地区是西藏日喀则(D4),其次是河北张家口(D2),接着是青海鲁沙尔(D3),最低的是内蒙古通辽(D1)。其中,

表 3 不同地区不同品种荞麦种子清蛋白含量的变异分析及多重比较
Table 3 Variance analysis and multiple comparison of seed albumin contents among different varieties of buckwheat and among different regions

编号 Code	种子清蛋白含量 Seed albumin content (%)						
	D1	D2	D3	D4	平均 Average	变异范围 Variation range	变异系数 CV (%)
TQ-1	2.109	2.952	4.729	3.006	3.199ab	2.109~4.729	34.373
TQ-2	2.230	2.912	4.122	2.557	2.955ab	2.230~4.122	27.957
TQ-3	1.848	2.606	4.213	3.109	2.944ab	1.848~4.213	33.701
TQ-4	1.053	2.012	4.604	2.818	2.622b	1.053~4.604	57.428
TQ-5	3.176	4.119	5.390	3.097	3.946a	3.097~5.390	27.096
TQ-6	2.560	4.550	4.750	2.700	3.640ab	2.560~4.750	32.157
TQ-7	3.497	2.888	5.117	2.645	3.537ab	2.645~5.117	31.463
TQ-8	2.197	3.118	5.105	2.976	3.349ab	2.197~5.105	36.987
TQ-9	3.607	3.276	4.899	2.818	3.650ab	2.818~4.899	24.474
TQ-10	2.378	3.825	4.574	3.076	3.463ab	2.378~4.574	27.354
平均 Average	2.466c	3.226b	4.750a	2.880bc			
变异范围 Variation range	1.053~3.607	2.012~4.550	4.122~5.390	2.557~3.109			
变异系数 CV (%)	31.763	23.266	8.385	6.970			

注: 荞麦品种编号见表 1, 地点编号见表 2。数值为平均值, 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Buckwheat variety numbers are listed in Table 1, and the location numbers are in Table 2. Data in the table are mean. Different lower letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below.

表 4 不同地区不同品种荞麦种子球蛋白含量的变异分析及多重比较
Table 4 Variation analysis and multiple comparison of seed globulin contents among different varieties of buckwheat and among different regions

编号 Code	种子球蛋白含量 Seed globulin content (%)						
	D1	D2	D3	D4	平均 Average	变异范围 Variation range	变异系数 CV (%)
TQ-1	1.288	1.145	0.720	1.041	1.049a	0.720~1.288	23.011
TQ-2	1.090	1.033	0.678	1.004	0.951ab	0.678~1.090	19.515
TQ-3	1.114	0.869	0.736	0.955	0.919ab	0.736~1.114	17.250
TQ-4	1.148	0.903	0.744	0.882	0.919ab	0.744~1.148	18.278
TQ-5	1.155	0.960	0.814	0.814	0.936ab	0.814~1.155	17.265
TQ-6	0.876	0.952	0.691	0.676	0.799b	0.676~0.952	17.125
TQ-7	1.067	0.976	0.764	0.840	0.912ab	0.764~1.067	14.879
TQ-8	0.785	0.876	0.684	0.830	0.794b	0.684~0.876	10.338
TQ-9	1.101	0.931	0.837	0.897	0.942ab	0.837~1.101	12.025
TQ-10	1.181	0.989	0.744	0.824	0.935ab	0.744~1.181	20.698
平均 Average	1.081a	0.963b	0.741d	0.876c			
变异范围 Variation range	0.785~1.288	0.869~1.145	0.678~0.837	0.676~1.041			
变异系数 CV (%)	13.596	8.477	7.150	12.046			

表 5 不同地区不同品种荞麦种子醇溶蛋白含量的变异分析及多重比较
Table 5 Variance analysis and multiple comparison of prolamine contents among different varieties of buckwheat and among different regions

编号 Code	种子醇溶蛋白含量 Seed prolamine content (%)						
	D1	D2	D3	D4	平均 Average	变异范围 Variation range	变异系数 CV (%)
TQ-1	0.219	0.279	0.310	0.402	0.302a	0.219~0.402	25.235
TQ-2	0.236	0.391	0.321	0.398	0.336a	0.236~0.398	22.432
TQ-3	0.232	0.327	0.218	0.359	0.284a	0.218~0.359	24.508
TQ-4	0.206	0.316	0.312	0.435	0.317a	0.206~0.435	29.497
TQ-5	0.289	0.326	0.327	0.394	0.334a	0.289~0.394	13.094
TQ-6	0.239	0.360	0.243	0.369	0.303a	0.239~0.369	23.589
TQ-7	0.197	0.397	0.264	0.420	0.319a	0.197~0.420	33.415
TQ-8	0.230	0.364	0.220	0.359	0.293a	0.220~0.364	26.919
TQ-9	0.268	0.381	0.343	0.416	0.352a	0.268~0.416	18.023
TQ-10	0.212	0.380	0.214	0.377	0.296a	0.212~0.380	32.312
平均 Average	0.233d	0.352b	0.277c	0.393a			
变异范围 Variation range	0.197~0.289	0.279~0.397	0.214~0.343	0.359~0.435			
变异系数 CV (%)	12.046	10.920	18.288	6.719			

表 6 不同地区不同品种荞麦种子谷蛋白含量的变异分析及多重比较
Table 6 Variance analysis and multiple comparison of seed glutelin contents among different varieties of buckwheat and among different regions

编号 Code	种子谷蛋白含量 Seed glutelin content (%)						
	D1	D2	D3	D4	平均 Average	变异范围 Variation range	变异系数 CV (%)
TQ-1	2.252	2.877	2.196	2.327	2.413a	2.196~2.877	13.011
TQ-2	2.387	2.720	2.387	2.301	2.449a	2.301~2.720	7.568
TQ-3	2.010	2.686	1.997	1.919	2.153b	1.919~2.686	16.609
TQ-4	2.384	2.637	2.384	2.335	2.435a	2.335~2.637	5.611
TQ-5	2.469	2.823	2.281	2.270	2.461a	2.270~2.823	10.492
TQ-6	2.234	2.764	2.090	2.157	2.311ab	2.090~2.764	13.305
TQ-7	2.203	2.939	2.227	2.258	2.407a	2.203~2.939	14.773
TQ-8	2.268	2.960	2.219	2.198	2.411a	2.198~2.960	15.221
TQ-9	2.356	2.810	2.296	2.208	2.418a	2.208~2.810	11.112
TQ-10	1.844	2.838	2.221	1.943	2.212ab	1.844~2.838	20.218
平均 Average	2.255b	2.805a	2.230b	2.192b			
变异范围 Variation range	1.856~2.485	2.636~2.939	1.997~2.384	1.919~2.335			
变异系数 CV (%)	8.419	3.755	5.402	6.786			

表 7 不同地区不同品种荞麦种子组分蛋白的双因素方差分析

Table 7 Two-factor variance analysis on the seed protein contents among different varieties of buckwheat and among different regions

变异来源 Source	种子清蛋白含量 Seed albumin content (%)					变异来源 Source	种子醇溶蛋白含量 Seed prolamine content (%)				
	Ⅲ型 平方和 Type III SS	自由度 df	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value		Ⅲ型 平方和 Type III SS	自由度 df	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value
校正模型 Corrected Model	35.564a	12	2.964	12.135	0.000	校正模型 Corrected Model	0.173a	12	0.014	12	0.000
截距 Intercept	443.676	1	443.676	1 816.676	0.000	截距 Intercept	3.938	1	3.938	3268	0.000
地点 Site	29.778	3	9.926	40.643	0.000	地点 Site	0.156	3	0.052	43.220	0.000
品种 Cultivar	5.786	9	0.643	2.632	0.025	品种 Cultivar	0.017	9	0.002	1.591	0.170
误差 Error	6.594	27	0.244			误差 Error	0.033	27	0.001		
总计 Total	485.833	40				总计 Total	4.144	40			
校正的总计 Corrected total	42.158	39				校正的总计 Corrected total	0.206	39			
	$R^2 = 0.844$ (调整 $R^2 = 0.774$)						$R^2 = 0.842$ (调整 $R^2 = 0.772$)				
变异来源 Source	种子球蛋白含量 Seed globulin content (%)					变异来源 Source	种子谷蛋白含量 Seed glutelin content (%)				
	Ⅲ型 平方和 Type III SS	自由度 df	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value		Ⅲ型 平方和 Type III SS	自由度 df	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value
校正模型 Corrected Model	0.810a	12	0.067	9.895	0.000	校正模型 Corrected Model	2.983a	12	0.249	19.496	0.000
截距 Intercept	33.515	1	33.515	4 912.887	0.000	截距 Intercept	224.084	1	224.084	17 574.81	0.000
地点 Site	0.614	3	0.205	30.020	0.000	地点 Site	2.577	3	0.859	67.38	0.000
品种 Cultivar	0.196	9	0.022	3.186	0.009	品种 Cultivar	0.406	9	0.045	3.534	0.005
误差 Error	0.184	27	0.007			误差 Error	0.344	27	0.013		
总计 Total	34.509	40				总计 Total	227.411	40			
校正的总计 Corrected total	0.994	39				校正的总计 Corrected total	3.327	39			
	$R^2 = 0.815$ (调整 $R^2 = 0.732$)						$R^2 = 0.897$ (调整 $R^2 = 0.851$)				

西藏日喀则(D4)的最高为0.393%,变异范围为0.359%~0.435%,变异系数为6.719%,在4个地区中离散程度最低。均值多重比较结果表明,10个甜荞品种在4个地区的种子醇溶蛋白含量差异不显著,可见栽培地区对甜荞种子醇溶蛋白含量的影响不大。其中,离散程度最小的品种是蒙0530(TQ-5),变异系数为13.094%,在4个地区平均种子醇溶蛋白含量为0.334%;而离散程度最高的是信农1号(TQ-7),变异范围较广,为0.197%~0.420%。而在西藏日喀则(D4)栽种的定甜荞2号(TQ-4)的种子醇溶蛋白含量最高,为0.435%。

对10个品种在4个栽培地区中收获的种子谷蛋白含量的分析可知,河北张家口(D2)的平均种子

谷蛋白含量最高,为2.805%,变异范围为2.636%~2.939%,变异系数为3.755%,离散程度最低。西藏日喀则(D4)的含量最低,仅2.192%。根据表6多重比较结果,可将10个品种分为两组:蒙0530(TQ-5)、宁荞1号(TQ-2)、定甜荞2号(TQ-4)、通荞1号(TQ-9)、赤甜荞1号(TQ-1)、蒙0208(TQ-8)、信农1号(TQ-7)>定甜荞3号(TQ-6)、荞杂1号(TQ-10)、荞杂2号(TQ-3)。其中,定甜荞2号(TQ-4)的离散程度最低,变异系数为5.611%,变异范围为2.335%~2.637%,平均种子谷蛋白含量为2.435%。而在河北张家口(D2)栽培的蒙0208(TQ-8)的种子谷蛋白含量最高,为2.960%。

总之,4个不同海拔高度的栽培地区中,海拔最

表 8 不同品种荞麦蛋白质含量与海拔的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of protein contents in different buckwheat varieties with altitude

品种 Cultivar	与海拔的相关系数 Correlation coefficient with altitude				
	总蛋白 Total protein	清蛋白 Albumin	球蛋白 Globulin	醇溶蛋白 Prolamine	谷蛋白 Glutelin
TQ-1	0.609	0.620	-0.706	0.953 *	-0.170
TQ-2	0.372	0.451	-0.520	0.714	-0.360
TQ-3	0.740	0.778	-0.599	0.443	-0.304
TQ-4	0.766	0.754	-0.813	0.917	-0.330
TQ-5	0.005	0.245	-0.971 *	0.890	-0.548
TQ-6	0.025	0.185	-0.807	0.451	-0.361
TQ-7	-0.056	0.055	-0.901	0.625	-0.164
TQ-8	0.500	0.552	-0.152	0.354	-0.299
TQ-9	-0.196	-0.007	-0.870	0.819	-0.418
TQ-10	0.278	0.497	-0.929	0.405	-0.021

注: * 表示在概率 0.05 (双侧) 水平具有显著性意义。

Note: * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

低的内蒙古通辽(D1),甜荞平均种子球蛋白含量最高,但清蛋白和醇溶蛋白的含量都是最低的。而海拔1 450 m 的河北(D2)谷蛋白含量最高。海拔2 620 m 的青海(D3)清蛋白含量最高,但球蛋白含量则最低。海拔最高的西藏日喀则(D4)的醇溶蛋白是最高的,谷蛋白含量最低。10 个甜荞品种中,蒙 0530(TQ-5)在 4 个地区的平均种子清蛋白和谷蛋白含量都最高,而球蛋白含量最高的是赤甜荞 1 号(TQ-1),醇溶蛋白最高的是定甜荞 2 号(TQ-4)。并且如蒙 0208(TQ-8)在河北张家口(D2)谷蛋白含量最高,而并非在其原产地内蒙古。由此推测荞麦的蛋白品质是随环境而变化的,并非在原产地其蛋白品质才最好。

在以上分析结果上,更进一步对甜荞种子 4 种组分蛋白含量进行双因素方差分析(表 7)。由表 7 可知,种子清蛋白含量的整个模型的统计量 $F = 12.135, P = 0 < 0.01$,表明所用模型具有统计学意义,且地点的 $F = 40.643, P = 0.000 < 0.01$,表明不同地点间甜荞种子清蛋白含量达极显著水平,而品种的 $F = 2.632, P = 0.025 < 0.05$,表明不同品种间甜荞种子清蛋白含量有显著差异。同理,种子球蛋白含量中,整个模型的统计量 $F = 9.895, P = 0 < 0.01$,其所用模型

也是具有统计学意义,且地点的 $F = 30.02, P = 0.000 < 0.001$,品种 $F = 3.186, P = 0.009 < 0.001$,表明地点和品种双因素对甜荞种子球蛋白含量的变异有极显著影响。不同地点之间醇溶蛋白含量差异达极显著水平,地点和品种对甜荞种子谷蛋白含量的变异均具极显著影响。此结果与上述分析一致。

2.3 不同品种甜荞蛋白含量与海拔的相关分析

为探究栽培地点海拔对种子蛋白含量的影响做了相关分析,结果见表 8。其中,赤甜荞 1 号(TQ-1)的醇溶蛋白含量与海拔呈显著正相关,相关系数为 0.953,表明赤甜荞 1 号(TQ-1)种子醇溶蛋白含量可能随着海拔升高而增加。蒙 0530(TQ-5)的球蛋白含量与海拔呈显著负相关,相关系数为 -0.971,预示该品种的种子醇溶蛋白含量可能随海拔增高降低。其他品种与海拔的相关性均未达到显著水平。以上说明随着海拔的升高,10 个甜荞品种各组分蛋白含量的变化并不一致,其中球蛋白和谷蛋白的含量可能是随海拔的增高而降低。

3 讨论与结论

关于甜荞不同品种不同地点种子蛋白含量,已有少数研究报道,但主要针对总蛋白含量,没有对不同类型种子蛋白含量进行分析。本研究首次报道了不同甜荞品种在不同地点栽培下种子蛋白不同组分含量的变异,结果发现在 4 个栽培地区中,各地区甜荞不同种子蛋白组分的含量分布不一致,如在青海栽培的甜荞平均种子清蛋白含量最高,而在内蒙古栽培的平均甜荞种子球蛋白含量最高,种子醇溶蛋白含量最高的栽培地区是西藏日喀则,在河北张家口收获的甜荞平均的种子谷蛋白含量最高。种子清蛋白含量在品种间变异达极显著水平,不同地点间醇溶蛋白含量变异达极显著水平,而地点和品种两个因素对种子球蛋白含量和谷蛋白含量的变异都有极显著影响。本研究还发现,不同甜荞品种的四种子蛋白组分的含量与栽培区海拔的相关性也不一致。

本研究还发现,甜荞种子蛋白组分中清蛋白的含量最高,谷蛋白含量次之,醇溶蛋白和球蛋白的含量较低。这与魏益民(1995)的研究结果基本一致。从对各地区各品种甜荞种子组分蛋白的研究来看,其含量与种子总蛋白含量总体成相应的比例,即其总蛋白含量高,则其各蛋白组分含量一高,表明各组分蛋白的遗传具有同步性。但也有例外,如在青海

栽种的总蛋白含量最高的蒙 0530,其球蛋白和醇溶蛋白含量并非是最高的,反之亦然。这说明在甜荞中可以筛选特殊的品种,并可以通过如杂交等途径得到我们需要的材料,比如两个低醇溶蛋白的甜荞杂交或许可以得到更低醇溶蛋白含量的后代,对此还需在今后的研究中进一步论证。

关于甜荞不同品种在不同栽培条件下的种子蛋白组分含量差异的原因,时政等(2011)认为其差异可能是由栽培地区的海拔、温度及光照等多种因素差异所造成,而李月等(2013)认为纬度、海拔、生育期平均温度都不是影响荞麦蛋白质品质变化的主效生态因子,还有很多其他生态因子的影响。唐慧慧等(2002)对大麦种子醇溶蛋白的研究表明醇溶蛋白的带型分布与地理环境密切相关。不同的肥料配施对荞麦籽粒的品质亦有不同影响(徐松鹤等,2015)。由此可见,作物种子的蛋白品质实际上是受到栽种环境的多种因素影响,而环境中每种因素对荞麦蛋白品质的影响程度都是不同的。因此,需要多年多地区的持续研究。

参考文献:

- CHEN QF, 2012. Plant sciences on genus *Fagopyrum* [M]. Beijing: Science Press: 1-352. [陈庆富, 2012. 荞麦属植物科学 [M]. 北京: 科学出版社: 1-352.]
- LI Y, SONG ZX, HU WQ, et al, 2013. Correlation between the contents of protein and flavonoids and the environment in different varieties of buckwheat [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 41(5): 79-82. [李月, 宋志新, 胡文强, 等, 2013. 不同品种荞麦蛋白质和黄酮含量与环境的相关性 [J]. *江苏农业科学*, 41(5): 79-82.]
- LIU YH, YU L, XIAO D, 2006. Analysis on content of seed protein groups in buckwheat grain [J]. *Seed*, 25(12): 31-33. [刘拥海, 俞乐, 肖迪, 2006. 荞麦种子蛋白质组分分析 [J]. *种子*, 25(12): 31-33.]
- PADHYE VW, SALUNKHE DK, 1979. Extraction and characterization of rice proteins [J]. *Cereal Chem*, 56(5): 389-393.
- RADOVIC SR, MAKSIMOVIC VR, VARKONJI-GAŠIĆ EI, 1996. Characterization of buckwheat seed storage proteins [J]. *J Agr Food Chem*, 44(4): 972-974.
- RADOVIC SR, MAKSIMOVIC VR, BRKLJACIC MJ, et al, 1999. 2S albumin from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds [J]. *J Agr Food Chem*, 47(4): 1467-1470.
- SHI Z, HUANG KF, WANG Y, et al, 2011. Variation of protein and flavonoid content in buckwheat from different ecological regions in Guizhou Province [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 39(4): 70-72. [时政, 黄凯丰, 王莹, 等, 2011. 贵州省不同生态区荞麦蛋白质、黄酮含量变异研究 [J]. *江苏农业科学*, 39(4): 70-72.]
- TANG XK, ZHOU PL, TANG AW, 2008. The extraction and separation of spinach chloroplast protein [J]. *J Xiangtan Norm (Nat Sci Ed)*, 30(4): 33-35. [唐新科, 周平兰, 谭爱武, 2008. 菠菜叶绿体蛋白质的提取与分离 [J]. *湘潭师范学院学报(自然科学版)*, 30(4): 33-35.]
- TANG HH, DING Y, HU YJ, 2002. Genetic polymorphism of hordein in wild relatives of barley from China [J]. *J Wuhan Bot Res*, 20(4): 251-257. [唐慧慧, 丁毅, 胡耀军, 2002. 中国近缘野生大麦醇溶蛋白的遗传多态性研究 [J]. *武汉植物学研究*, 20(4): 251-257.]
- XU SH, REN Q, CAO XM, et al, 2015. The effect of different fertilizer combined application on buckwheat quality [J]. *Hubei Agric Sci*, 24: 6207-6210. [徐松鹤, 任琴, 曹兴明, 等, 2015. 不同肥料配施方案对荞麦品质影响 [J]. *湖北农业科学*, 24: 6207-6210.]
- WEI YM, 1995. Buckwheat quality and processing [M]. Xi'an: World Book Inc: 115-117. [魏益民, 1995. 荞麦品质与加工 [M]. 西安: 世界图书出版公司: 115-117.]
- YIN LG, ZHONG G, 2004. Research progress on nutritional characteristics, physiological function and medicinal value of buckwheat [J]. *Cereals Oils*, (5): 32-34. [尹礼国, 钟耕, 2004. 荞麦营养特性、生理功能和药用价值研究进展 [J]. *粮食与油脂*, (5): 32-34.]
- ZHENG GH, SOSULSKI FW, TYLER RT, 1997. Wet-milling, composition and functional properties of starch and protein isolated from buckwheat groats [J]. *Food Res Int*, 30(7): 493-502.
- ZHOU XL, HUANG L, 2010. The study progress in the composition of buckwheat protein and its functional ingredients [J]. *J Shanghai Inst Technol (Nat Sci Ed)*, 10(3): 196-199. [周小理, 黄琳, 2010. 荞麦蛋白的组成与功能成分研究进展 [J]. *上海应用技术学院学报(自然科学版)*, 10(3): 196-199.]
- (上接第 510 页 Continue from page 510)
- (增刊): 118-120. [张素勤, 耿广东, 谭玉丽, 2008. 水杨酸对辣椒抗寒性的影响 [J]. *华北农学报*, 23(增刊): 118-120.]
- ZHANG Y, JIANG J, 2012. Effect of acetyl salicylic acid on cold resistance of tomato seedlings under sub-low nighttime temperature [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 28(25): 239-242. [张阳, 姜晶, 2012. 乙酰水杨酸对夜间亚低温番茄幼苗抗寒性的影响 [J]. *中国农学通报*, 28(25): 239-242.]
- ZHOU L, ZHENG H, ZHANG L, et al, 2008. Study on fertilizing KH_2PO_4 of arachis duranensis under low temperature stress [J]. *Mod Agric Sci*, 15(2): 27-31. [周立, 郑荷, 张利, 等, 2008. 低温胁迫下磷酸二氢钾对蔓花生的生理影响研究 [J]. *现代农业科学*, 15(2): 27-31.]
- ZHOU QW, YANG MC, XU HY, et al, 1998. Protective effect of free radical scavengers on banana under low temperature stress [J]. *J Guangxi Agric Univ*, 17(4): 356-359. [周歧伟, 杨美纯, 许鸿源, 等, 1998. 低温胁迫下自由基清除剂对香蕉的保护作用 [J]. *广西农业大学学报*, 17(4): 356-359.]
- ZHU JF, LU ZH, XIA JB, et al, 2013. Changes of osmotic adjusting substances in leaves of *Tamarix chinensis* seedlings under salt and drought stress [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 33(2): 357-363. [朱金方, 陆兆华, 夏江宝, 等, 2013. 盐旱交叉胁迫对柽柳幼苗渗透调节物质含量的影响 [J]. *西北植物学报*, 33(2): 357-363.]