

织锦巴非蛤斧足颜色与总类胡萝卜素含量相关分析

李庆昌¹, 刘 坦¹, 陈小明¹, 蔡明夷¹, 刘贤德¹, 曾志南²

(1. 农业部东海海水健康养殖重点实验室, 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建省水产研究所, 福建 厦门 361013)

摘要: 斧足是织锦巴非蛤重要的食用部位。本研究检测了 94 个织锦巴非蛤斧足的总类胡萝卜素含量 (TCC) 和 3 个颜色指标 L*(明暗度)、a*(红绿值)、b*(黄蓝值), 发现织锦巴非蛤斧足总类胡萝卜素含量和颜色指标在不同个体之间存在较大差异。相关性分析表明, 织锦巴非蛤斧足的总类胡萝卜素含量与颜色指标 L*、a*、b* 之间相关极显著 ($P < 0.01$), 相关系数分别为: -0.546、0.569、0.449。本研究表明, 斧足颜色越深, 其类胡萝卜素含量也越高可能是一个普遍规律, 这为我们接下来选育高类胡萝卜素含量贝类提供了一种直观的参考指标。

关键词: 织锦巴非蛤; 总类胡萝卜素; 颜色指标; 斧足

中图分类号: S917.4 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2016)10-0120-06

doi: 10.11759/hyxx20160104001

类胡萝卜素是一类重要的天然色素的总称, 普遍存在于动物、高等植物、真菌、藻类和细菌中^[1]。类胡萝卜素具有抗氧化、增强免疫力、治疗光敏性疾病和防止白内障发生等功能^[2-5]。已有报道表明, 许多贝类体内含有丰富的类胡萝卜素, 这些类胡萝卜素来自摄食的藻类, 并在其体内积累转化^[6]。类胡萝卜素在动物体内的转运吸收与多种蛋白质有关, 而蛋白质则受遗传表达的控制^[7]。在海洋贝类方面, 已有李宁^[8]在虾夷扇贝和刘合露^[9]在华贵栉孔扇贝上的研究, 并证明了组织富集类胡萝卜素的这一性状是可以稳定遗传的。海产贝类是海鸟及人类的重要食物源, 它在将类胡萝卜素传入高等脊椎动物这条食物链中起着重要的作用^[10]。

织锦巴非蛤(*Paphia textile*)属软体动物门、帘蛤科、巴非蛤属, 常栖息在浅海沙底、潮下带, 主要分布于马来西亚、中国大陆和中国台湾^[11]。织锦巴非蛤营养丰富、肉味鲜美, 养殖成本低廉, 易于管理, 市场销量大, 现已为我国东南沿海重要的经济贝类之一^[11]。不同贝类主要的食用部位不同, 如华贵栉孔扇贝、海湾扇贝的主要食用部位是闭壳肌, 鲍的主要食用部位是腹足, 而本文研究的织锦巴非蛤的主要食用部位是斧足。

食品的视觉感知是影响消费者的偏好选择和产品价值的重要因素^[12-13], 鲜艳的颜色可以增加人们的购买欲和食欲, 例如, 鲑鱼肉红颜色的深浅与消费者产品享受程度呈正相关^[14]。在前期调研中我们

发现, 同一批次织锦巴非蛤的斧足颜色之间有明显的差异, 从白到黄, 深浅不一(图 1)。在华贵栉孔扇贝上的研究表明^[5, 9, 15], 华贵栉孔扇贝黄颜色的闭壳肌比白颜色的闭壳肌有更高的总类胡萝卜素含量 (TCC)。而在织锦巴非蛤上, 有关斧足颜色和 TCC 之间的相关分析至今尚未见报道。

本研究, 笔者通过分光光度法测定织锦巴非蛤斧足的 TCC, 并通过色差仪测得三个颜色指标 L*、a*、b*, 并分析了二者的相关性, 以期为进一步选育高类胡萝卜素含量的织锦巴非蛤提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

2015 年 10 月至 11 月, 从厦门市海鲜市场先后购买 5 批总计 94 个新鲜织锦巴非蛤样品, 用于本实验的检测、分析。

收稿日期: 2016-01-04; 修回日期: 2016-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31172397); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(JA14167, C18013); 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室开放课题(2015fjseq05)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 31172397; Supported by Program for New Century Excellent Talents in Fujian Province University, No. JA14167, No. C18013; Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, No. 2015fjseq05]

作者简介: 李庆昌(1993-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要从事水产动物遗传育种研究, E-mail: 761239001@qq.com; 刘贤德, 通信作者, 教授, E-mail: xdlou@jmu.edu.cn



图 1 织锦巴非蛤不同个体间斧足颜色有明显差异
Fig. 1 Differences in the color of *Paphia textile* foot tissue among individuals

1.2 方法

1.2.1 取样

用手术刀切断织锦巴非蛤前后闭壳肌, 打开后用剪刀剪取斧足, 并放置于装有冰的保温盒内, 备用。

1.2.2 斧足颜色的测量

色度学认为物体的颜色由国际照明委员会(International Commission on Illumination, 简称 CIE)提出的色彩模式三刺激值 XYZ 表示, 但需要转换成色度坐标空间便于人眼理解, 转换方法一般采用效果好的非线性法, 即 Hunter L a b (由 Richard S.Hunter 所创立)和 CIE1976 L* a* b*, 其中 Hunter L a b 使用平方根计算, 而 CIE L* a* b*使用立方根计算, CIE 推荐使用 CIE L* a* b*[16]。其中 L*值(0~100)表示明暗度, 数据越大说明亮度越大; +a*值表示红色, -a*值表示绿色; +b*值表示黄色, -b*值表示蓝色, 通过这三个数值, 可以准确的表示出被测物质的颜色[17-18]。

将斧足剪碎后, 用 WSC-S 型号色差仪(上海精科)进行检测。测定 3 个颜色指标: L*、a*、b*。

1.2.3 斧足中总类胡萝卜素的提取

总类胡萝卜素提取方法参阅杨叶欣等[19-20]的研究并略有改动, 具体方法步骤如下: ①称取斧足组织 0.1 g 左右, 加入等量的无水硫酸钠和适量的无水乙醇(分析纯)充分匀浆; ②将匀浆液转移到 10 mL 离心管中, 并用无水乙醇润洗两次匀浆管, 一并转移到 10 mL 离心管中, 加无水乙醇定容至 8 mL, 用锡箔纸避光密封, 在 4℃ 冰箱过夜; ③用 4000 r/min 离心 10 min(Centrifuge 5430R, Eppendorf 公司), 取上清液; ④用紫外分光光度计(UV-5100, 厦门亿辰科技)测定在 480 nm 处的吸光值, 代入公式算出总类胡萝卜素含量。总类胡萝卜素含量($\mu\text{g/g}$)= $A \times K \times V/E \times G$, 其中: A 为吸光度值, K 为常数(10^4), V 为提取液体积

(mL), E 为摩尔消光系数(2500), G 为样品质量(g)。

1.3 数据处理

利用 SPSS19.0 软件, 选用多组样本间 Pearson 相关性分析的方法, 分析斧足 TCC 与颜色指标 L*、a*、b*之间的相关性及相关系数。

2 结果与分析

2.1 斧足颜色指标与其总类胡萝卜素含量测量结果

织锦巴非蛤斧足总类胡萝卜素含量及颜色指标测量结果如表 1、表 2 所示。

从表 1 和表 2 可以看出, 总类胡萝卜素含量在 1.83~22.13 $\mu\text{g/g}$ 之间, 个体之间差异情况较大。颜色指标 L*、a*、b*的波动范围为 41.69~53.01、5.51~21.92、22.37~31.87。

2.2 相关性分析

织锦巴非蛤斧足中总类胡萝卜素含量与其颜色指标的皮尔逊相关系数及相关分析结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出, 织锦巴非蛤斧足中 TCC 分别与 L*、a*、b*有极显著相关性($P < 0.01$), 相关系数分别为 -0.546、0.569、0.449。说明织锦巴非蛤斧足中 TCC 越高, L*值越小, 即斧足明亮度越低; a*值越大, 即斧足颜色越红; b*值越大, 即斧足颜色越黄。综上所述, 织锦巴非蛤斧足中 TCC 与其颜色有极显著相关性($P < 0.01$), 表现为总类胡萝卜素含量越高, 斧足颜色越深、越红或黄。

3 讨论

类胡萝卜素是一类普遍存在于动植物以及微生物体内的天然色素, 在生物体着色方面上起着至关重要的作用[1, 21-23]。近年来, 对水产贝类组织中的类胡萝卜素含量的研究越来越多, 但鉴于不同贝类的主食用部位的不同, 相关研究的重点部位也不尽相同。鉴于斧足是织锦巴非蛤的重要食用器官, 笔者对织锦巴非蛤斧足中类胡萝卜素含量进行检测, 不同个体间总类胡萝卜素含量为 1.83 $\mu\text{g/g}$ 到 22.13 $\mu\text{g/g}$ 。在虾夷扇贝闭壳肌[8]和卵巢[24]中 TCC 分别为 23.1、15.6 $\mu\text{g/g}$ 。在华贵栉孔扇贝[5]的性腺、闭壳肌、外套膜和腮这四种组织中, 不同个体不同组织颜色之间的 TCC 相差很大, TCC 含量最高的性腺组织可达 59.85 $\mu\text{g/g}$, 其次是外套膜 TCC 范围为 3.04~16.5 $\mu\text{g/g}$, 闭壳肌 TCC 范围为 0.73~15.6 $\mu\text{g/g}$, 腮的 TCC 最低, 范围在

表 1 织锦巴非蛤斧足总类胡萝卜素含量及颜色指标测量结果

Tab. 1 Measurements results of *Paphia textile* foot tissue for total carotenoid content (TCC) and color index

序号	TCC(μg/g)	L*	a*	b*	序号	TCC (μg/g)	L*	a*	b*
1	1.83	47.79	12.67	26.45	48	11.87	50.23	8.63	24.98
2	3.97	51.69	7.77	24.24	49	11.98	51.17	8.30	24.21
3	4.95	48.71	10.35	24.15	50	12.04	48.24	13.05	25.96
4	5.56	50.59	8.66	24.69	51	12.16	47.70	7.82	25.75
5	5.61	52.15	5.76	22.55	52	12.34	46.08	15.80	27.48
6	5.64	46.31	11.92	25.61	53	12.40	45.24	13.61	28.96
7	5.78	47.98	10.75	25.13	54	12.49	47.03	10.43	27.96
8	5.89	49.11	10.83	26.36	55	12.53	48.60	12.89	25.95
9	6.31	46.68	12.84	26.19	56	12.56	46.77	16.31	25.73
10	6.53	50.01	10.21	24.75	57	12.83	44.11	14.65	29.87
11	6.73	48.35	10.83	24.74	58	12.90	46.42	16.20	27.33
12	6.88	48.58	11.38	25.05	59	12.91	44.25	15.23	25.96
13	7.08	43.22	16.38	28.24	60	12.99	47.55	10.28	26.38
14	7.53	51.70	7.34	22.77	61	13.88	44.24	15.17	28.26
15	7.57	50.79	8.83	24.85	62	14.21	47.31	14.52	26.66
16	7.61	49.90	9.77	25.04	63	15.37	45.14	14.47	31.87
17	7.83	49.42	12.11	24.66	64	15.39	45.57	12.85	29.33
18	8.04	51.31	7.59	23.91	65	15.98	44.88	13.63	27.70
19	8.14	50.31	9.53	25.26	66	16.21	44.73	14.07	27.25
20	8.24	48.14	9.22	28.93	67	19.77	44.59	20.22	28.65
21	8.26	46.31	13.50	27.70	68	20.35	45.35	12.77	29.61
22	8.29	47.82	11.96	25.23	69	10.00	45.15	16.27	26.95
23	8.48	45.05	11.26	26.28	70	8.92	47.6	12.32	26.12
24	8.68	48.50	10.15	26.26	71	7.16	48.87	11.51	25.05
25	8.73	48.85	10.72	25.39	72	9.34	48.73	11.46	24.51
26	8.78	53.01	5.51	22.37	73	12.27	45.82	14.5	26.75
27	8.97	48.51	9.37	25.89	74	16.89	44.56	17.69	29.28
28	9.20	50.76	9.19	24.19	75	9.54	45.54	15.64	26.46
29	9.25	47.99	8.85	26.80	76	9.38	41.69	16.61	23.24
30	9.41	48.42	12.46	26.38	77	9.35	47.98	11.98	26.99
31	9.43	49.08	10.21	26.35	78	11.04	46.68	15.51	25.9
32	9.50	49.80	9.41	25.47	79	14.76	44.8	16.5	24.75
33	9.84	49.72	7.51	23.34	80	11.77	43.61	16.93	23.75
34	9.96	46.94	9.78	27.29	81	14.96	44.19	15.77	27.02
35	10.17	48.32	11.31	27.24	82	8.92	46.25	14.36	24.75
36	10.38	49.14	12.29	25.90	83	6.14	47.48	11.01	24.25
37	10.40	47.41	9.06	26.76	84	7.62	45.01	15.1	24.07
38	10.74	48.70	10.89	25.81	85	13.36	43.77	17.31	25.04
39	11.14	46.89	12.52	27.61	86	9.74	42.68	17.45	24.01
40	11.20	47.79	13.32	27.87	87	8.71	47.27	12.16	24.55
41	11.37	47.24	12.70	26.52	88	10.22	48.1	13.3	26.02
42	11.45	42.97	16.04	29.95	89	15.03	46.09	15.98	26.18
43	11.53	47.74	13.43	27.78	90	13.11	43.32	17.4	23.81
44	11.62	43.94	13.68	27.08	91	22.13	41.88	21.92	23.91
45	11.69	45.92	15.10	27.94	92	9.10	46.29	15.45	23.07
46	11.69	45.22	13.20	28.02	93	12.10	46.86	16.7	25.57
47	11.76	46.25	11.00	29.44	94	7.71	48.88	11.46	23.89

表 2 织锦巴非蛤斧足总类胡萝卜素含量及颜色指标统计分析结果

Tab. 2 Statistical results of *P. textile* foot tissue for TCC and color index

统计指标	TCC(μg/g)	L*	a*	b*
平均值	10.448	47.184	12.578	26.087
标准差	3.467	2.412	3.161	1.848
波动范围	1.83~22.13	41.69~53.01	5.51~21.92	22.37~31.87

表 3 织锦巴非蛤斧足总类胡萝卜素含量与颜色指标皮尔逊系数相关分析结果

Tab. 3 Results of Pearson correlation coefficient analysis of *P. textile* foot tissue for TCC and color index

统计指标	L*	a*	b*
相关系数	-0.546**	0.569**	0.449**
P 值	<0.001	<0.001	<0.001
样本含量 N	94	94	94

1.96~8.99 μg/g。对比不同贝类不同组织之间的总类胡萝卜素含量可以发现,不同贝类特别是不同组织之间 TCC 相差明显,这种差异可能是物种不同导致的;另外,同种贝类相同组织的不同个体之间 TCC 分布范围相差巨大,这更加说明了我们研究不同个体间 TCC 差异这一性状的重要性。

在本研究中我们发现,织锦巴非蛤斧足颜色与其总类胡萝卜素含量呈正相关关系,即斧足颜色越黄、越红或者说颜色越深,其中类胡萝卜素含量就越多,这与郑怀平等^[5, 9, 15]在华贵栉孔扇贝的研究结果是一致的,即黄颜色的华贵栉孔扇贝组织比白颜色的组织有更高的总类胡萝卜素含量。在玉米上的研究也有类似的结果,相对于白色玉米,黄色玉米的胚乳具有有较高的类胡萝卜素含量^[25-26]。以上研究说明,织锦巴非蛤斧足颜色越深,其类胡萝卜素含量也越高可能是一个普遍规律,这对我们接下来选育高类胡萝卜素含量贝类提供了一种直观的参考指标。

致谢:在颜色指标检测过程中,集美大学生物工程学院翁武银教授给予诸多帮助,谨此致谢。

参考文献:

[1] 闻海波, 聂志娟, 曹哲明, 等. 不同颜色珍珠层的三角帆蚌组织中类胡萝卜素含量的分析[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 3: 265-268.
Wen Haibo, Nie Zhijuan, Cao Zheming, et al. Carotenoid levels in soft tissues of triangle pearl mussel *Hyriopsis cumingii* with different color nacreous layer[J].

Journal of Dalian Fisheries University, 2012, 3: 265-268.
[2] 张倩, 郑怀平, 刘合露, 等. 海产贝类体内类胡萝卜素的研究进展[J]. 海洋通报, 2011, 1: 108-112.
Zhang Qian, Zheng Huaiping, Liu Helu, et al. Research progress of carotenoids in marine mollusks[J]. Marine Science Bulletin, 2011, 1: 108-112.
[3] Rao A, Rao L. Carotenoids and human health[J]. Pharmacological Research. 2007, 55(3): 207-216.
[4] Chew B P, Park J S. Carotenoid action on the immune response[J]. The Journal of Nutrition. 2004, 134(1): 257S-261S.
[5] Zheng H, Liu H, Zhang T, et al. Total carotenoid differences in scallop tissues of *Chlamys nobilis* (Bivalve: Pectinidae) with regard to gender and shell colour[J]. Food Chemistry. 2010, 122(4): 1164-1167.
[6] Kantha S S. Carotenoids of edible molluscs; a review[J]. Journal of Food Biochemistry. 1989, 13(6): 429-442.
[7] 张洪宽, 刘合露, 罗刚, 等. 动物类胡萝卜素代谢的分子研究进展[J]. 中国农学通报, 2015(1): 247-251.
Zhang Hongkuan, Liu Helu, Luo Gang, et al. Molecular research progress of carotenoid metabolism in animals[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015(1): 247-251.
[8] 李宁. 虾夷扇贝橘红色闭壳肌产生的原因及其在育种中的应用[D]. 中国海洋大学, 2009.
Li Ning. What accounting for orange color of Yesso scallop muscle (*Patinopekten yessoensis*) and its application in breeding[D]. Ocean University of China, 2009.
[9] 刘合露. 华贵栉孔扇贝橙色闭壳肌个体富集类胡萝卜素原因的初步研究[D]. 汕头大学, 2011.
Liu Helu. Preliminary study on cause of carotenoids enriched in orange adductor individuals in the noble scallops *Chlamys nobilis* Neeve[D]. Shantou University, 2011.
[10] Czczuga B. Carotenoid contents in *Diodora graeca* (L.) (*Gastropoda: Fissurellidae* from the Mediterranean (Monaco)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. 1980, 65(2): 439-441.
[11] 纪燕如, 林志华, 伍荣聪, 等. 我国东南沿海 5 个织锦巴非蛤地理群体的形态差异分析[J]. 热带生物学报. 2011(3): 219-225.
Ji Yanru, Lin Zhihua, Wu Rongcong, et al. Morphological variation analysis of five different geographic populations of *paphia textile* along south China Sea[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2011(3): 219-225.
[12] Kahn B E, Wansink B. The influence of assortment structure on perceived variety and consumption quantities[J]. Journal of Consumer Research. 2004, 30(4):

- 519-533.
- [13] 谭龙. 类胡萝卜素着色作用研究进展[J]. 北京农业. 2014(12): 13.
Tan Long. Research progress on the effect of carotenoid coloring[J]. Beijing Agriculture, 2014(12): 13.
- [14] G. Sylvia PhD, M. T. Morrissey PhD, T. Graham, et al. Organoleptic Qualities of Farmed and Wild *Salmon*[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology. 1995, 4(1): 51-64.
- [15] Liu H, Zheng H, Zhang H, et al. A de novo transcriptome of the noble scallop, *Chlamys nobilis*, focusing on mining transcripts for carotenoid-based coloration[J]. BMC Genomics. 2015, 16(1): 44.
- [16] 纪滨, 许正华, 胡学钢, 等. 基于颜色的食品品质检测技术现状及展望[J]. 食品与机械. 2013(4): 229-232.
Ji Bin, Xu Zhenghua, Hu Xuegang, et al. Reviewing food quality detection technology based on color[J]. Food and Machinery, 2013(4): 229-232.
- [17] 衣文正, 冯岗, 贾红亮, 等. 肉色测定过程中影响色差仪测量精度的因素分析[J]. 肉类工业. 2012(8): 36-39.
Yi Wenzheng, Feng Gang, Jia Hongliang, et al. Analysis on factors affecting colorimeter measurement accuracy in meat color determination[J]. Meat Industry, 2012(8): 36-39.
- [18] 周波, 黄瑞华, 曲亮, 等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. 江苏农业科学. 2007(2): 121-124.
Zhou Bo, Huang Ruihua, Qu Liang, et al. Evaluation of pig muscle color mensurated with color reader (CR - 10) and standard color block[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2007(2): 121-124.
- [19] 杨叶欣, 顾党恩, 牟希东, 等. 常用萃取剂提取福寿螺卵中类胡萝卜素的初步研究[J]. 生物安全学报. 2012(4): 291-294.
Yang Yexin, Gu Dangen, Mu Xidong, et al. Total carotenoids in the eggs of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata*[J]. Journal of Biosafety, 2012(4): 291-294.
- [20] 刘金海, 王安利, 王维娜, 等. 水产动物体色色素组分及着色剂研究进展[J]. 动物学杂志. 2002(3): 92-96.
Liu Jinhai, Wang Anli, Wang Weina, et al. Progress of study on the component of pigment and painting substance of aquatic animals[J]. Chinese Journal of Zoology, 2002(3): 92-96.
- [21] 邓敦, 戴志明, 李琦华. 类胡萝卜素着色的影响因素[J]. 饲料广角. 2003(23): 34.
Deng Dun, Dai Zhiming, Li Qihua. Influencing factors of carotenoid coloring[J]. Feed China, 2003(23): 34.
- [22] 冷向军, 李小勤. 水产动物着色的研究进展[J]. 水产学报. 2006(01): 138-143.
Leng Xiangjun, Li Xiaoqin. The recent advance of aquatic animal pigmentation[J]. Journal of Fisheries of China, 2006(01): 138-143.
- [23] Matsuno T. Aquatic animal carotenoids[J]. Fisheries Science. 2001, 67(5): 771-783.
- [24] Miki W, Yamaguchi K, Konosu S. Comparison of carotenoids in the ovaries of marine fish and shellfish[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. 1982, 71(1): 7-11.
- [25] Palaisa K A, Morgante M, Williams M, et al. Contrasting effects of selection on sequence diversity and linkage disequilibrium at two phytoene synthase loci[J]. The Plant Cell. 2003, 15(8): 1795-1806.
- [26] 王荣焕, 王天宇, 黎裕. 植物基因组中的连锁不平衡[J]. 遗传, 2007, 29(11): 1317-1323.
Wang Ronghuan, Wang Tianyu, Li Yu. Linkage disequilibrium in plant genomes[J]. Hereditas, 2007, 29(11): 1317-1323.

Correlation analysis of the color and total carotenoid content in *Paphia textile* foot tissue

LI Qing-chang¹, LIU Tan¹, CHEN Xiao-ming¹, CAI Ming-yi¹, LIU Xian-de¹, ZENG Zhi-nan²

(1. Key Laboratory of Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture, Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China)

Received: Jan. 4, 2016

Key words: *Paphia textile*; Total carotenoid content; Color index; Foot tissue

Abstract: Foot tissue is an important edible part of *Paphia textile*. This study examined the total carotenoid content (TCC) and color index L*(brightness), a*(values of red, green), and b*(values of yellow, blue) of 94 *P. textile* foot tissue samples. There are huge differences in TCC and color index among individuals. Correlation analysis showed that *P. textile* foot tissue of TCC and color index, L*, a*, and b*, have high significant correlation ($P < 0.01$), with the correlation coefficients being -0.546 , 0.569 , and 0.449 , respectively. This study illustrated a potential universal law, i.e., the deepness of the color of the foot tissue is directly proportional to the content of carotenoid, which provides important reference data for selecting high-content carotenoid in *P. textile* breeding.

(本文编辑: 康亦兼)