

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.06.019

覆盖雷竹笋色泽与品质相关性分析

何玉友, 陈双林*, 郭子武, 徐 森

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的] 测定分析林地覆盖雷竹笋外观色泽变化程度及色泽与品质间的关系, 为竹笋品质评价和生产经营提供参考。[方法] 利用色差计测定覆盖雷竹笋笋箨和笋肉上、中、下不同部位的 L 、 a 、 b 色泽参数, 并运用主成分分析、聚类分析、判别分析、方差分析和相关分析等方法对竹笋色泽参数和形态指标进行统计分析。[结果] 结果表明: 笋箨中部、上部等部位的 L 、 a 、 b 色度为覆盖雷竹笋外观主要呈色部位及色泽因子; 采用 $L \times a \times b$ 进行聚类分析, 可将竹笋分为深、中、浅 3 种外观色泽类型, 判别分析与聚类结果一致率为 95.6%, 回判验证准确率为 93.3%, 分类效果较好。不同色泽类型竹笋在笋箨、笋肉色泽, 笋体、笋箨形态及可食率等方面差异显著, 且竹笋内外品相间存在关联性。浅色竹笋外观通体黄白匀称, 笋肉白亮, 笋箨小而薄, 笋莴质量轻, 可食率相比色深者提高 11% 以上。[结论] 覆盖雷竹笋在色泽与形态等外观性状上变化丰富, 浅色竹笋更具外观品质优势。

关键词: 覆盖雷竹笋; 笋箨色泽; 品质; 相关性

中图分类号: S795

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2021)06-0157-11

竹笋是低糖、低脂、高蛋白、高纤维的森林蔬菜, 富含多酚、甾醇、类黄酮等活性功能物质, 兼具食用和保健功能^[1-3], 深受广大群众喜爱, 也是我国大宗出口农产品。我国主栽笋用竹种 20 多种, 其中, 雷竹 (*Phyllostachys violascens*(Carr.) A. et C. Riv. 'Prevernalis') 具有易栽培、成林快、笋期早、产量高等特点, 且可通过林地覆盖竹笋早出技术措施, 使出笋期明显提前, 大量鲜笋可于春节前后销售旺季上市, 显著提高竹林经济效益。目前, 雷竹已在我国南方许多省份规模化引种栽培, 取得很好的经济、生态和社会效益^[4-6]。但在生产中发现林地覆盖雷竹笋外观品质差异十分明显, 尤其是笋箨色泽, 直接影响到竹笋市场价格和竞争力, 是广大竹农和基层林技人员普遍关注的问题。研究林地覆盖雷竹笋外观品质变异程度, 揭示竹笋外观品质形成机理, 对高品质竹笋培育具有重要意义。

蔬菜品质包括感观品质、风味品质、营养品

质、卫生品质和贮藏加工品质等多个方面^[7-8]。竹笋外观品质中, 株型、大小、色泽、损伤与虫斑、鲜嫩度等最易引起消费者关注, 也是产品分级定价的直接依据^[9-10], 而竹笋外观色泽主要由笋箨所体现。笋箨是竹笋的重要器官, 不仅是竹种分类的依据, 也是幼嫩竹笋的主要保护和支撑器官^[11], 对竹笋生长和品质可能具有重要影响^[12-13]。雷竹笋箨黄褐、棕褐至紫黑色, 分布有紫褐色斑点或斑块, 或集中或分散, 因栽培条件或品种类型等不同而产生丰富色变^[14], 决定了竹笋外观的主要成色。可通过肉眼目测和仪器分析鉴定颜色。目测法多具局限性, 准确性不高; 而仪器法能达到量化研究色泽变化的目的。色差仪法是一种国内外通用的测色方法, 在肉类^[15]、茶叶^[16-17]、蔬菜^[18]、果品^[19-22]、烟叶^[23-24]等品质检验领域应用较多。目前, 对笋箨的研究较为鲜见, 主要集中在形态学观察与解剖学研究上, 有关竹笋外观色泽性状的研究还未见报道。

收稿日期: 2021-06-08 修回日期: 2021-07-29

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项课题 (2016YFD0600903); 浙江省重点研发计划项目 (2017C02016)

* 通讯作者: 陈双林, 研究员. 主要研究方向: 竹资源培育. 电话: 0571-63310054. E-mail: cslbamboo@126.com.

本研究采用色差计检测笋箨的颜色参数,结合主成分分析、系统聚类和判别分析等手段,对覆盖雷竹笋进行色泽分类,旨在摸清雷竹笋外观色变程度和类型,揭示色变类型与竹笋品质间的关系,为竹笋品质评价体系构建和高品质竹笋培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省杭州市临安区太湖源镇(29°56′~30°23′N, 118°51′~119°72′E),属亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明,年降水量1 250~1 600 mm,年平均气温15.4℃,1月平均气温3.2℃,7月平均气温29.9℃,极端最低温度-13.3℃,极端最高温度40.2℃,全年大于10℃的平均活动积温5 100℃,年平均无霜期235 d,年日照时数1 850~1 950 h,土壤为红壤。太湖源镇是临安竹笋产业第一大镇,雷竹为该镇主栽笋用竹种,占全镇竹林面积40%以上,其覆盖栽培历史已近30 a。雷竹林地覆盖措施主要为:11月中下旬对竹林进行翻土并施肥,施肥后林地浇透水,覆盖厚度10 cm左右稻草(增温层),再铺上厚度20~30 cm左右麦糠(保温层),至翌年3月自然出笋时将覆盖物清除出林外。

1.2 试样处理及指标测定

1.2.1 外观形态指标测定 2021年2月7日上午,在临安区太湖源镇竹笋交易市场临安益微竹笋专业合作社竹笋收购摊位,从该社社员进场交售的竹笋中随机选取45支新鲜无病虫害、形态完整无损伤的雷竹笋,分别装入塑料袋带回实验室进行保鲜处理。临安益微竹笋专业合作社地处太湖源镇青云村,该摊位主要购销所在村各种植户当天清晨采挖的新鲜竹笋。因采样日期临近春节,覆盖雷竹笋已开始进入出笋盛期。

先清除待测样笋体表泥土,逐株测量样笋的基径、长度、鲜质量并顺次编号。然后剥除笋基根毛区数片小型笋箨,根据其保留笋箨在笋体上的分布位置,分上、中、下3个部位将最外部共10余片笋箨用刀具小心剥除,分部位对笋箨计数、称质量,量取长度、宽度和下端厚度,编号后放入塑料自封袋冷藏备用。每部位一般具2~4片笋箨,尤以3片居多。再剥除顶端不可食用笋箨,切除笋

壳,将笋壳等下脚料分别称质量,计算竹笋可食率及下脚料占比。

1.2.2 外观色泽指标测定 用CR-400型色彩色差仪(日本Konica Minolta公司)测定色泽指标,测定前用标准白板校对。

笋箨测定:参照国际照明委员会(CIE)CIELAB色彩模型, L 为明度值, $L=0$ 表示黑色, $L=100$ 表示白色,各种黑白色值在0~100之间; a 为红度值,从红到绿渐变,正值越大越偏向红色,负值越小越偏向绿色; b 为黄度值,从黄到蓝渐变,正值偏向黄色,负值偏向蓝色^[25]。从每样笋上、中、下3部位的笋箨中各选2片(上部笋箨选显色居多者),将其平展于实验台上,在每片笋箨正面的上部、中部和下部,用色差仪逐一测定各部位任意2个位点的 L 、 a 、 b 值,求取平均值作为该部位的最终色度值。位点选取时需避开残伤和病斑等,每支样笋共测定36次。

笋肉测定:从每样笋笋肉上平均选取上、中、下3部位,在各部中间位置用色差仪测定笋体圆周上任意3点的 L 、 a 、 b 值,取平均值作为该部位笋肉的色度值。测定时,将样品紧贴10 mm测样口以防漏光,每支笋样共测定9次。

衍生参数色差(ΔE)按下式计算:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} = ((L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2)^{1/2}$$

$\Delta E = 2$ 为视觉分辨界限。当 ΔE 在0~2之间时,视觉无法察觉色泽变化;当 $\Delta E > 2$ 时,视觉可发现明显的色泽变化^[26-27]。

1.3 数据分析

试验数据均表示为平均值±标准差(mean±SD)。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较某一测定指标的差异显著性,多重比较采用LSD法,显著水平为 $\alpha = 0.05$ 。用主成分分析法筛选影响笋箨外观呈色的主要色泽指标,用Ward法进行聚类分析,用步进法进行判别分析,性状间相关性采用Pearson双侧检验。所有数据用SPSS 26.0软件进行统计分析,并用Excel 2007作图表。

2 结果与分析

2.1 覆盖雷竹笋外观呈色部位及色泽指标筛选

数据分析显示:凯泽-梅耶尔-奥利金(KMO)

值 $0.770 > 0.6$, Bartlett球形检验显著性 P 值 $0.000 < 0.05$, 说明数据适合作因子分析。主成分分析结果显示:第1主成分解释了51.06%的色泽差异,第2、3、4主成分分别解释了13.07%、8.01%、6.43%的变异,累计解释量为78.57%。由此可见,前4个主成分能较好地反映雷竹笋体的综合色泽性状,但尤以第1主成分影响最显著。在第1主成分中(表1),肉眼能直接观察到的笋箨中部、上部等显露部位的 L 、 a 、 b 色度值具有较高载荷而与其相关密切;非显露部位(笋箨下部)各色度值因载荷较小而相关不密切,表明其所含信息较少。

表1 覆盖雷竹笋笋箨色泽因子主成分分析结果

Table 1 PCA results of sheath colors of mulched *Ph. violascens* shoots

色泽参数 Color parameter	第1主成分各色度因子特征向量 Eigenvectors of different color factors of the first principle component								
	上部笋箨 Upper bamboo sheath			中部笋箨 Middle bamboo sheath			下部笋箨 Lower bamboo sheath		
	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	下 Lower
L	0.248	0.201	0.140	0.243	0.247	0.195	0.236	0.224	0.113
a	-0.166	-0.201	-0.105	-0.204	-0.208	-0.173	-0.219	-0.230	-0.127
b	0.242	0.175	-0.080	0.236	0.229	0.054	0.214	0.193	-0.033

2.2 覆盖雷竹笋外观色泽分类与判别

2.2.1 聚类分析 根据主成分分析选取的覆盖雷竹笋笋箨主要呈色部位及其色度指标,分别不同色度因子及其组合(L 、 a 、 b 、 $L \times a$ 、 $L \times b$ 、 $a \times b$ 、 $L \times a \times b$)进行聚类分析。由各聚类分析谱系图(图1a)可知:在相对类间距离为5时,均可将45份笋样分为3类。由图2可知:同一样本总体,聚类依据不同,分类结果不尽相同。从总体看,第1类、第2类、第3类的平均成员数分别为25.3、11.7、8.0支,极差分别为8、8、3支;第1类数量最多,占56.2%,第3类最少,占17.8%,第2类居中,占26.0%。不同分类依据所划分的各类成员中,有31支样笋类属稳定,第1、2、3类各有20、4和7支,分别占各类成员平均数的79%、34%和88%;其余14支样笋在类间变动,在第1类和第2类间变动的样笋有10支,在第2类和第3类间变化的有3支,跨类变动有1支。由上可见,分类依据对第1类、第2类划分影响较大,第3类所受影响较小。

以31支稳定样笋组成的类群作为本试验的典

其中, L 值均与第1主成分呈正相关, b 值以正相关为主,而 a 值则均呈负相关。依各色度值与第1主成分相关性大小及其对雷竹笋外观呈色的位置重要性,选取上、中、下3部位相应笋箨的上部、中部等显露部位的 L 、 a 、 b 值共18个色度因子作为覆盖雷竹笋外观呈色的主要色泽指标。如以相应的英文单词或词组的首字母组合下标来表示各色度因子所在测点的位置信息(表1),则所选色度因子与第1主成分相关性大小的序次可表示为: $L_{UU} > L_{MM} > L_{MU} > b_{UU} > L_{LU} > b_{MU} > a_{LM} > b_{MM} > L_{LM} > a_{LU} > b_{LU} > a_{MM} > a_{MU} > L_{UM} > a_{UM} > b_{LM} > b_{UM} > a_{UU}$ 。

型样本,图1b显示:即使以典型样本的 L 、 a 、 b 值进行聚类分析,其类间距离也不尽一致,其中,第1类与第2类的类间距离较接近,但均距第3类较远;当类间距离减小时,第1类又可下分出2个类别。谱系图中,将样笋分成2类、3类或4类的分群关系都比较直观,而以分成2个类别的谱系最明显。由此可见,覆盖雷竹笋外观色泽大致呈连续渐进变化,如按3组分型,则第1类、第3类较易辨识,而中间色泽类型较难区划分类。

以不同聚类依据所划分类群及典型样本各成员不同部位笋箨测点上色度 L 、 a 、 b 的类平均值,计算不同聚类依据所划分类群与典型样本相应部位笋箨的色差(ΔE),再以色差值为变量同法进行聚类分析,考察7种分类方法的异同。聚类结果显示:当类间相对距离为10时,可分为 L 与 a 、 b 与 $L \times b$,典型样本与 $L \times a$ 、 $a \times b$ 、 $L \times a \times b$ 等3个方法组。据此分析,用 $L \times a$ 、 $a \times b$ 、 $L \times a \times b$ 方法所得类群各色度值与典型样本更接近,聚类结果更具相似性。

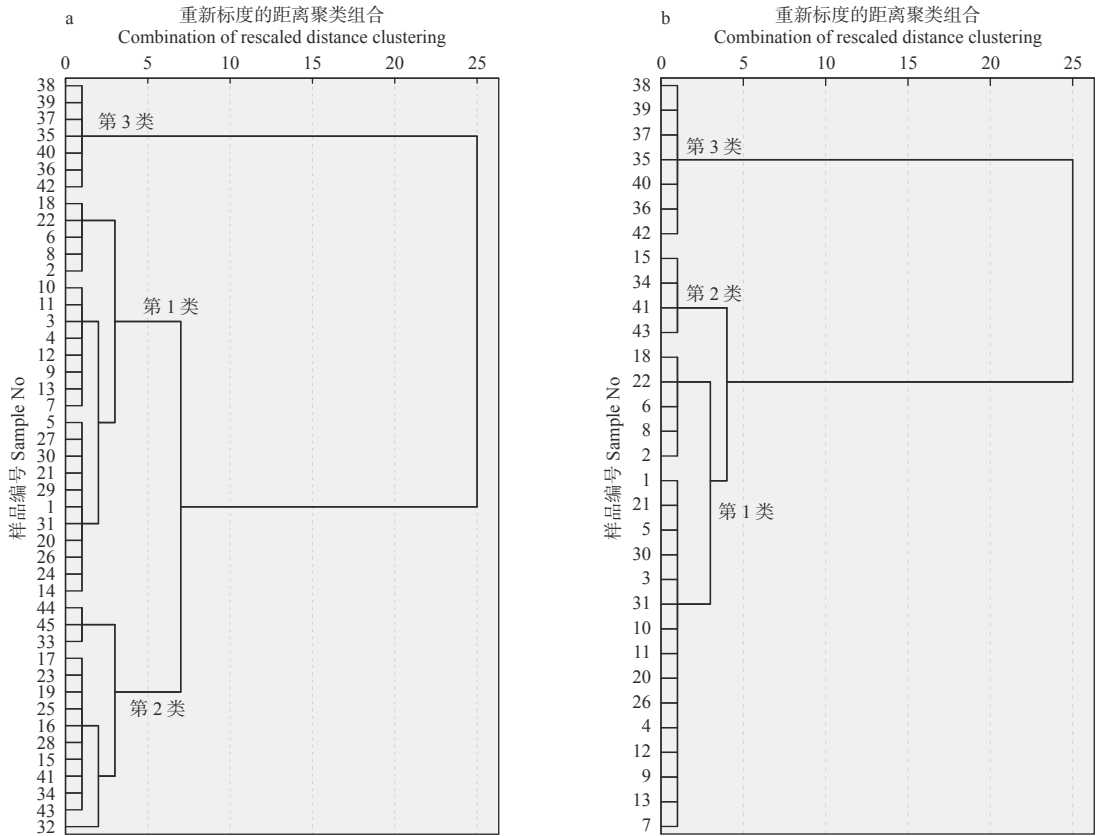


图 1 覆盖雷竹笋外观色泽聚类分析谱系图 (仅以全体样本和典型样本 $L \times a \times b$ 聚类分析为例, 其余略)

Fig. 1 Cluster dendrogram of appearance colors of mulched *Ph. violascens* shoots(Only taking $L \times a \times b$ cluster analysis results of all samples and typical samples as example, the rest omitted)

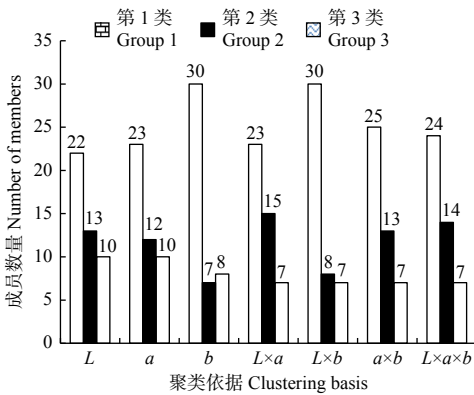


图 2 覆盖雷竹笋外观色泽不同聚类依据各类群成员数
Fig. 2 Number of various group members of mulched *Ph. violascens* shoots sorted with different cluster basis for sheath colors

2.2.2 判别分析 从表 2 看出: 判别分析得出的样笋类别与各聚类依据得出的结果基本一致, 各分类方法正确率均较高, 平均总体一致率达 95.6%, 尤以典型样本为最高, 达 100%, 判别效果较好。从

中显示, 各聚类依据对覆盖雷竹样笋进行外观色泽分类都有其合理性, 类群数也较合适。

以典型样本 31 支稳定样笋作为校正样本, 以其余 14 支变动样笋作为预测样本, 同法进行判别分析, 并对判别预测结果与各聚类方法比较。14 支样笋归属第 1、2、3 类的数量分别是 2、11、1 支, 经逐号比对, $L \times a \times b$ 、 $L \times a$ 、 $a \times b$ 法聚类结果与本次判别分析结果更接近, 准确率 91.1% 以上 (表 3)。此判别分析也佐证了不同聚类依据间的差异。

基于以上聚类分析与判别分析结果, 并结合生产实际, 宜采用 $L \times a \times b$ 对覆盖雷竹笋外观色泽进行分类并开展后续分析。聚类结果 (表 4) 显示: 第 1 类成员数量最多, 占比达 53.3%; 其次为第 2 类, 成员占比 31.1%; 第 3 类成员数最少, 仅占 15.6%。与实物比对, 第 1 类棕黑色, 色深; 第 2 类棕褐色, 间杂黄白色斑; 第 3 类黄白带绿, 色浅。

表 2 不同外观色泽覆盖雷竹笋判别分析结果

Table 2 Discriminant analysis results of mulched *Ph. violascens* shoots with different sheath colors

聚类依据 Cluster basis	类别 Type	预测组成员数/支 Forecast group members/Pieces									
		聚类分析 Cluster analysis		合计 Total	一致率/% Consistent rate	交叉验证 Cross validation		合计 Total	准确率/% Accuracy rate		
<i>L</i>	第1类 Group 1	19	(3)	22		19	(3)	22			
	第2类 Group 2		13	13	93.3		13	13	93.3		
	第3类 Group 3		10	10			10	10			
<i>a</i>	第1类 Group 1	23		23		23		23			
	第2类 Group 2		12	12	97.8		12	12	97.8		
	第3类 Group 3		(1)	9			(1)	9			
<i>b</i>	第1类 Group 1	29	(1)	30		28	(2)	30			
	第2类 Group 2		7	7	97.8	(1)	6	7	93.3		
	第3类 Group 3		8	8			8	8			
<i>L × a</i>	第1类 Group 1	22	(1)	23		21	(2)	23			
	第2类 Group 2		15	15	97.8		14	(1)	15	93.3	
	第3类 Group 3		7	7			7	7			
<i>L × b</i>	第1类 Group 1	29	(1)	30		28	(2)	30			
	第2类 Group 2		8	8	97.8%		8	8	93.3		
	第3类 Group 3		7	7			(1)	6	7		
<i>a × b</i>	第1类 Group 1	24	(1)	25		22	(3)	25			
	第2类 Group 2		12	(1)	13	95.6	(1)	10	(2)	13	86.7
	第3类 Group 3		7	7			7	7			
<i>L × a × b</i>	第1类 Group 1	22	(2)	24		22	(2)	24			
	第2类 Group 2		14	14	95.6		14	14	95.6		
	第3类 Group 3		7	7			7	7			
典型样本 Typical sample <i>L × a × b</i>	第1类 Group 1	20		20		20		20			
	第2类 Group 2		4	4	100.0		4	4	100.0		
	第3类 Group 3		7	7			7	7			

注: 0 内数字为误判个数。
Note: The number in () is the number of misjudgments.

表 3 不同色泽类型覆盖雷竹笋回判验证与比较

Table 3 Regression validation and comparison of mulched *Ph. violascens* shoots sorted with different sheath colors

项目 Item	预测组成员数/支 Forecast group members/Pieces			不同依据聚类分析相符成员数/支 Consistent members of clustering analysis based on different classified basis/Pieces						
	典型样本 Typical sample	预测样品 Predicting sample	小计 Sum	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L × a</i>	<i>L × b</i>	<i>a × b</i>	<i>L × a × b</i>
第1类 Group 1	20	2	22	21	21	22	22	22	22	22
第2类 Group 2	4	11	15	12	11	6	14	7	12	13
第3类 Group 3	7	1	8	8	7	7	7	7	7	7
合计 Total	31	14	45	41	39	35	43	36	41	42
准确率 Accuracy rate /%				91.1	86.7	77.8	95.6	80.0	91.1	93.3

表4 覆盖雷竹笋外观色泽 $L \times a \times b$ 聚类结果Table 4 $L \times a \times b$ clustering analysis results of sheath colors of mulched *Ph. violascens* shoots

类别 Type	合计/支 Total/Pieces	稳定样笋编号 Sample No. of stable shoot	小计/支 Sum/Pieces	变动样笋编号 Sample No. of unstable shoot	小计/支 Sum/Pieces	L	a	b
第1类 Group 1	24	1~13, 18, 20~22, 26, 30~31	20	14, 24, 27, 29	4	34.02	5.41	10.62
第2类 Group 2	14	15, 34, 41, 43	4	16, 17, 19, 23, 25, 28, 32~33, 44~45	10	43.44	3.80	15.41
第3类 Group 3	7	35-40, 42	7			61.32	-1.27	22.39

2.3 不同外观色泽类型覆盖雷竹笋色度指标差异

2.3.1 覆盖雷竹笋笋箨色度指标差异 在不同类型间,覆盖雷竹笋笋箨各部位的 L 、 a 、 b 值存在显著差异(表5)。 L 值由第1类向第3类递增,笋箨亮度明显增加。第1类、第2类、第3类平均 L 值分别为 34.02、43.44 和 61.32,类间平均增幅依次为 9.42、17.88,其中,以中部、上部笋箨间的增幅较大。对比实物,第1类较黑;第3类较白,第2类居中,各类差异显著。类间 b 值差异也极为显著,第1类至第3类黄度递增。第1类、第

2类、第3类平均 b 值分别为 10.62、15.41 和 22.39,类间平均增幅依次为 4.80、6.98,也以中部、上部笋箨间的增幅明显。对比实物,第2类稍带黄色,第3类明显泛黄。类间 a 值由第1类至第3类红度总体递减,差异相对较小。第1类与第2类间中上部笋箨 a 值差异不显著;第3类 a 值为负,显著小于第1类、第2类。第1类、第2类、第3类平均 a 值分别为 5.41、3.80 和 -1.27,类间平均降幅依次为 1.62、5.07。对比实物,第3类笋箨明显泛绿。

表5 不同外观色泽类型覆盖雷竹笋笋箨色度指标差异比较

Table 5 Comparison of color indexes of mulched *Ph. violascens* bamboo sheaths sorted with different sheath colors

色泽参数 Color parameter	类别 Type	上部笋箨 Upper bamboo sheath		中部笋箨 Middle bamboo sheath		下部笋箨 Lower bamboo sheath		变异系数 CV/%	极差 Range
		上 Upper	中 Middle	上 Upper	中 Middle	上 Upper	中 Middle		
L	第1类 Group1	25.36 ± 5.18c/c	39.82 ± 8.95c/ab	27.66 ± 5.06c/c	28.79 ± 6.46c/c	38.48 ± 3.69c/b	44.00 ± 6.73c/a	22.47	40.24
	第2类 Group2	35.53 ± 11.24b/c	47.67 ± 11.01b/ab	37.25 ± 6.91b/c	40.32 ± 11.53b/bc	46.69 ± 2.69b/b	53.17 ± 4.10b/a	24.18	43.37
	第3类 Group3	56.91 ± 4.46a/b	62.55 ± 6.03a/ab	57.86 ± 5.95a/b	64.85 ± 5.08a/ab	59.84 ± 3.76a/b	65.90 ± 2.76a/a	9.24	22.13
	变异系数 CV/%	40.00	26.50	34.20	39.70	18.90	19.10		
	极差 Range	44.30	42.70	44.80	49.20	32.20	36.50		
a	第1类 Group1	4.20 ± 1.90a/c	4.88 ± 2.49a/bc	4.94 ± 1.40a/bc	5.54 ± 2.07a/b	6.26 ± 1.25a/ab	6.66 ± 2.03a/a	51.06	13.54
	第2类 Group2	4.31 ± 2.08a/	2.92 ± 3.47b/	4.79 ± 1.69a/	4.26 ± 2.73a/	3.75 ± 1.60b/	2.75 ± 1.42b/	61.50	12.45
	第3类 Group3	-1.05 ± 2.55b/	-2.37 ± 2.96c/	-0.93 ± 2.38b/	-3.14 ± 1.70b/	0.15 ± 1.64c/	-0.30 ± 1.48c/	-184.79	9.11
	变异系数 CV/%	81.70	121.20	67.40	99.40	57.70	73.20		
	极差 Range	11.20	14.90	13.10	13.70	10.60	13.60		
b	第1类 Group1	5.35 ± 4.11c/b	14.35 ± 4.58b/a	7.26 ± 3.43c/b	7.87 ± 4.30c/b	13.37 ± 2.13c/a	15.50 ± 2.71c/a	31.93	24.49
	第2类 Group2	11.78 ± 5.99b/b	17.04 ± 4.09b/ab	13.53 ± 3.84b/b	14.17 ± 6.33b/ab	17.12 ± 1.97b/ab	18.84 ± 3.13b/a	32.42	23.22
	第3类 Group3	22.32 ± 2.26a/	22.16 ± 2.40a/	22.25 ± 2.24a/	23.26 ± 1.12a/	21.93 ± 1.45a/	22.41 ± 0.99a/	7.92	7.78
	变异系数 CV/%	75.60	30.10	55.30	59.30	23.20	20.80		
	极差 Range	24.60	18.70	21.80	23.30	14.70	17.30		
ΔE	第1类-第2类 Group1-Group2	12.03	8.53	11.46	13.20	9.37	10.51		
	第2类-第3类 Group2-Group3	24.43	16.60	23.10	27.19	14.46	13.57		
	第3类-第1类 Group3-Group1	36.21	25.10	34.22	40.16	23.81	24.00		

注:不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。“/”前字母表示类间差异,“/”后字母表示类内差异。下同。

Notes: Different lowercase letters indicate significant differences at level 0.05. The letters before "/" indicate inter-class differences, and the letters after "/" mean intra-class differences. The same below.

在相同类型内,第1类亮度 L 值在不同笋箨部位间差异显著。总体上,笋箨 L 值由上至下递增,平均最大增幅为18.64,中上部笋箨颜色明显暗于下部笋箨,因笋壳上黑色斑块主要分布于中上部笋箨;同一片笋箨上,中部 L 值又高于上部,明暗稍显交错。红度 a 值、黄度 b 值在不同笋箨部位间也差异显著,其变化趋势均类似于 L 值。第2类 L 、 b 值的变化规律与第1类相似,在不同笋箨部位间也差异显著; a 值由上至下呈递减趋势与 L 、 b 值相反,但差异不显著。第3类笋箨上部和中部的 L 值自笋体由上至下交替增加,且差异显著;而 a 、 b 值在笋箨不同部位间无显著差异,说明笋箨红、黄色度分布较均匀。

在类间,下部笋箨 L 、 a 、 b 值变异系数相对较小,说明该部颜色比较接近;中上部笋箨则变异系数较大,显示其为笋表主要色变部位。变异系数以 a 值最大, b 值次之, L 值最小,但极差却相反。在类内,第1类与第2类 L 、 a 、 b 值变异系数或极差较接近,且均大于第3类,表明第3类各样笋间色泽较匀称一致,色变程度较轻。

覆盖雷竹笋类间笋箨色差以第1类与第2类间最小,平均为10.85,即二者相对较接近,但均与

第3类相差较大,平均色差各为30.58、19.89,这与聚类分析结果相一致。同样,下部笋箨类间色差相对比中上部小,也即说明色差变化以中上部笋箨为主,这与前述分析相符。

2.3.2 覆盖雷竹笋笋肉色度指标差异 不同外观色泽类型覆盖雷竹笋笋肉各色度指标存在一定程度差异(表6)。在类间,下部笋肉各色度指标 L 、 a 、 b 值无显著差异,类间均值分别为78.85、-2.55和13.55,下部笋肉均现亮白色,且黄中带绿(b 正 a 负)。中部笋肉, L 值差异不显著,类均值为75.46; a 值为负且差异显著,由第3类至第1类,绿度显著加深,第1类、第2类间差异不明显,但均显著深于第3类; b 值为正也差异显著,由第3类至第1类黄度显著加深,第1类和第2类间无显著差异,但均与第3类差异显著。上部笋肉, L 值差异不显著,类均值为76.88; a 、 b 值的变化同中部笋肉。第1类、第2类、第3类上、中、下3部位平均 L 值分别为76.67、77.12、77.41,各类笋肉均一致通体白亮;平均 a 值各为-4.87、-3.81、-2.18,笋肉泛绿并依次渐减;平均 b 值依次为23.99、20.40、8.07,笋肉偏黄也逐类降低。

表6 不同外观色泽类型覆盖雷竹笋笋肉色泽指标差异比较

Table 6 Comparison of color indexes of mulched *Ph. violascens* shoot pulps sorted with different sheath colors

色泽参数 Color parameter	类别 Type	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower	极差 Range
L	第1类 Group1	76.63 ± 2.77/ab	73.98 ± 3.26/b	79.39 ± 1.50/a	11.72
	第2类 Group2	77.19 ± 2.63	75.88 ± 1.60	78.30 ± 2.94	8.26
	第3类 Group3	76.83 ± 2.37	76.53 ± 2.20	78.87 ± 1.07	6.39
	极差 Range	9.09	9.20	7.90	
a	第1类 Group1	-5.33 ± 1.01b/b	-6.19 ± 1.87b/b	-3.09 ± 1.12/a	6.97
	第2类 Group2	-4.17 ± 1.51b/b	-4.70 ± 1.53b/b	-2.56 ± 0.33/a	4.71
	第3类 Group3	-2.17 ± 0.62a	-2.37 ± 0.75a	-1.99 ± 0.41	1.87
	极差 Range	5.44	7.68	3.03	
b	第1类 Group1	27.42 ± 1.65a/a	29.55 ± 3.82a/a	14.31 ± 3.15/b	23.99
	第2类 Group2	23.50 ± 3.44b/a	25.84 ± 5.44a/a	12.75 ± 1.05/b	20.40
	第3类 Group3	18.57 ± 1.33c/a	18.75 ± 1.29b/a	13.58 ± 0.89/b	8.07
	极差 Range	12.41	16.27	8.00	
ΔE	第1类与第2类 Group1-Group2	4.12	4.42	1.97	
	第2类与第3类 Group2-Group3	5.34	7.49	1.15	
	第3类与第1类 Group3-Group1	9.40	11.73	1.42	

在类内,第1类色泽参数 L 、 a 、 b 值在笋肉不同部位间差异显著。下部笋肉 L 显著大于中上部,笋体比中上部白亮;而中上部 L 值无差异。下部笋肉 a 值显著大于中上部,即绿色较上部为浅;而中上部间无差异。下部笋肉 b 值显著小于中上部,即黄色也较上部为浅;中上部间 b 值无差异。第2类仅 a 、 b 值在笋肉不同部位间差异显著,其表现与第1类相似。第3类仅 b 值在笋肉不同部位间差异显著,其变化与第1类、第2类相同。

类间色差比较显示:第1类至第3类,色差值呈梯度增加;下部笋肉间 ΔE 小于2,肉眼难于察觉其差别;而中上部笋肉色差明显。在类内,上部与中部间色差不大,第1、2、3类分别为3.51、2.73、0.40;但上部与下部、中部与下部均存较大色差,第1、2、3类各为13.58、10.93、5.39和

16.47、13.48、5.69。

由上可知,总体上覆盖雷竹笋肉较为明亮,黄中带绿。第1类、第2类、第3类笋肉主要区别于中上部黄绿色变程度。第1类、第2类笋肉下白上黄绿,区分明显;第3类笋肉通体较为白亮,色泽匀称。

2.3.3 覆盖雷竹笋笋箨与笋肉色泽参数相关性

表7显示:笋箨色度与笋肉色度具有一定相关性。以部位而论,中部、上部笋箨、笋肉色度相关性显著强于下部。就色泽参数而言,笋箨 L 、 b 值与笋肉色度的相关性强于 a 值;笋箨 L 值与笋肉 a 值显著或极显著正相关、与 b 值显著或极显著负相关,即笋箨 L 值越大, a 、 b 绝对值越小,也即越趋近中间色。笋箨与笋肉间的 a 、 b 值,自呈负相关、互呈正相关。可见,笋箨色泽对笋肉呈色影响显著。

表 7 覆盖雷竹笋笋箨与笋肉色泽参数的相关性

Table 7 Correlation coefficients of color parameters between sheath and pulp of mulched *Ph. violascens* shoots

范围 Range	笋肉 Pulp	笋箨 Sheath			上部 笋肉 Upper pulp	上部笋箨 Upper sheath			中部 笋肉 Middle pulp	中部笋箨 Middle sheath			下部 笋肉 Lower pulp	下部笋箨 Lower sheath		
		L	a	b		L	a	b		L	a	b		L	a	b
全体样品 All samples	L	0.217	0.004	0.131	L	-0.113	0.200	-0.185	L	0.332	-0.286	0.283	L	-0.026	-0.075	-0.016
	a	0.808**	-0.520**	0.796**	a	0.834**	-0.611*	0.856**	a	0.832**	-0.758**	0.826**	a	0.586*	-0.479	0.691**
	b	-0.726**	0.326*	-0.683**	b	-0.915**	0.683**	-0.922**	b	-0.908**	0.789**	-0.930**	b	-0.219	0.192	-0.306
第1类 Group 1	L	0.494	0.135	0.333												
	a	0.684**	0.277	0.670**												
	b	-0.917**	-0.325	-0.864**												
第2类 Group 2	L	0.073	0	-0.004												
	a	0.798**	-0.267	0.786**												
	b	-0.778**	0.273	-0.709**												
第3类 Group 3	L	0.258	0.510	-0.217												
	a	0.585*	-0.163	0.380												
	b	-0.335	-0.398	-0.097												

注: *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$ 。

Notes: * for a significant correlation at level 0.05, ** for a very significant correlation at level 0.01.

在不同色泽类型内,即使样笋间色变程度有所弱化,笋箨色度与笋肉色度也呈现出类似的关联性,可见二者关联较密切。

2.4 不同色泽类型覆盖雷竹笋形态性状差异

不同色泽类型覆盖雷竹笋在长度、基径、鲜质量、可食率等性状上差异显著(表8)。笋体形态大小及鲜质量由第1、2、3类呈递减趋势,第2类稍逊于第1类,差异不显著,但二者均显著高于第3类;第3类样笋平均长度24.29 cm,基径4.19 cm,

单支鲜质量162.5 g,分别约为第1类、第2类的76.28%、84.48%、56.28%和79.94%、88.80%、64.90%,明显小于第1类、第2类。笋箨长、宽、厚、质量由第1类至第3类也呈下降趋势,除厚度外,其余均差异显著;第3类笋箨平均长、宽、厚、质量分别是第1类的75.6%、82.8%、91.6%、52.9%和第2类的83.1%、87.3%、94.7%、62.0%,相应第2类则为第1类的90.9%、94.8%、96.8%、85.2%。笋箨与笋体鲜质量的占比由第

1类的26.07%向第3类的23.47%递减,降幅为3%~10%,类间差异不显著。笋壳与笋体鲜质量占比也由第1类的16.32%向第3类的11.89%递减,但类间差异显著;第3类与第2类无差异,却均显著低于第1类;第3类、第2类相比第1类,

分别约降低27.14%、25.06%。但可食率却由第1类的57.67%向第3类的64.57%递增,第1类与第2类、第3类差异显著,第2类与第3类差异不显著;第3类相比第1类、第2类,可食率分别约增加11.96%、3.43%。

表8 不同色泽类型覆盖雷竹笋形态指标差异比较

Table 8 Comparison of morphological index differences among mulched *Ph. violascens* shoots sorted with different sheath colors

类别 Type	长度 Sheath length/cm	基径 Basal diameter/cm	鲜质量 Fresh weight/g	可食率 Edible rate/%	笋箨占比 Ratio of shoot to sheath/%	笋壳占比 Ratio of shoot to stump/%	笋箨长 Sheath length/cm	笋箨宽 Sheath width/cm	笋箨厚 Sheath thickness/mm	笋箨质量 Sheath weight/g
第1类 Group 1	31.84 ± 3.76a	4.95 ± 0.44a	288.73 ± 49.89a	57.67 ± 5.94b	26.07 ± 2.82	16.32 ± 5.90a	10.61 ± 0.87a	14.68 ± 1.11a	1.23 ± 0.11	6.18 ± 1.03a
第2类 Group 2	30.38 ± 3.44a	4.71 ± 0.69a	250.39 ± 80.09a	62.43 ± 3.74a	25.27 ± 2.31	12.23 ± 3.61b	9.65 ± 0.80b	13.91 ± 1.81a	1.20 ± 0.16	5.27 ± 1.59b
第3类 Group 3	24.29 ± 4.17b	4.19 ± 0.68b	162.50 ± 51.58b	64.57 ± 3.31a	23.47 ± 4.03	11.89 ± 3.10b	8.03 ± 1.34c	12.15 ± 1.77b	1.13 ± 0.19	3.27 ± 1.03c
CV/%	14.91	12.92	28.95	9.42	11.66	36.76	13.08	11.96	11.87	29.07

由上可见,覆盖雷竹笋形态、可食率等与外观色泽有关,随着色泽变浅,雷笋形体变小,笋箨也相应减小,笋壳变轻,但可食率却有所提高。

3 讨论

3.1 覆盖雷竹笋外观色泽的差异

研究发现,笋箨显露部位 L 、 a 、 b 值是覆盖雷竹笋外观的主要呈色部位及色度因子,中上部位笋箨显色效果强于下部。肉眼观察也表明,深色竹笋其黑色斑块大而密,且集中分布于中上部笋箨,笋表棕黑;浅色竹笋黑色斑块不明显或极少,外表通体黄白带绿;中色竹笋黑斑成点状或条状分布,所占面积较少,体表以棕褐为主、黄白相杂。相同覆盖措施下生产的同种竹笋,肉眼和仪器均能判别出竹笋外观色泽的明显差异,说明即使在有机覆盖物厚达30~40 cm的暗环境下,雷竹笋箨也存在色素合成与色泽变化。像水果、蔬菜一样^[28-29],套袋、遮荫、培土等避光措施改变竹笋笋箨、品质等性状已见诸报道^[12-13,30-32],但未见有相同措施(水平)下不同个体间色泽等的差异比较及其成因分析。同一地块所产雷竹自然笋中也存在相似的色差现象,有笋农认为该现象是因竹笋与母竹的距离或竹鞭埋土深度不同,也可能是由竹笋出土露尖的时间或高低不一造成的,故其色斑成因与机理尚需研究明确。

3.2 覆盖雷竹笋外观色泽的分类

本次覆盖雷竹笋外观色泽分类试验发现,笋箨

色斑分布的均匀程度对仪器法判别和初步目测结果的相符性影响较大,二者对色泽相对匀称的第1类、第3类判别相符率较高,但对黑白相间的第2类判别则差异较大,二者总体相符率约60%。其原因主要是笋箨色斑分布的不均匀性和色差计取样口大小所限,因取样位置不同而造成局部仪器测量和总体观感产生偏差。目测法相较仪器测定,简单、快捷、实用;色差计法则更为精准、可以定量描述和比较,二者各有千秋^[20-23]。就本次分类结果与实物比照而言,覆盖雷竹笋色泽类型主要由笋箨上深色与浅色色块的分布及其所占比例决定。因此,在竹笋色泽分类实践中,应将目测法和仪器法二者结合,反复对色泽参数和色斑比例进行比较参照,才可能制定出合适的竹笋外观色泽分类标准和实用方法。

按笋箨 $L \times a \times b$ 色度分类结果,第1类、第2类、第3类的样笋数比例为3.5:2:1,第2类、第3类占比不高,雷竹有机物覆盖相较于韭黄(*Allium tuberosum* Rottler ex Spreng.)^[29]、高节竹(*Ph. prominens* W.Y.Xiong)^[9,30]等培土方法,笋箨减色(白化、黄化)效果欠佳,说明现有栽培措施可能有改进空间。雷竹自然笋和覆盖笋相比较,二者色变程度及差异情况也有待研究探讨。

3.3 覆盖雷竹笋色泽与笋肉品质的关系

套袋、遮荫、培土等栽培措施显著改变了竹笋外观形态,也协同改变了营养、适口性等内在品

质^[12-13, 30-32], 植物外观形态与内在品质间的关联现象, 普遍存在于药材、水果等许多领域^[33-36]。本试验也初步显示, 笋箨色泽与笋肉色泽具有相关性, 即笋箨色浅者笋肉也亮白, 内外品相具有一致性; 浅色竹笋(第3类)可食率高于色深者(第1类)11%以上, 且笋箨小而薄、笋莛轻, 说明笋体可能更嫩。初步研究显示, 浅色竹笋外观品质更优, 但在食味、营养等品质方面是否也具优势, 尚待进一步比较验证。

4 结论

笋箨色泽是竹笋外观品质的重要指标。覆盖雷竹笋色泽变化丰富, 其外观主要呈色部位及色度因子为肉眼可见的笋箨中部、上部等显露部位的 L 、 a 、 b 色值, 以 $L \times a \times b$ 色泽参数为聚类依据, 可将竹笋分为深、中、浅3种色泽类型。不同色泽类型竹笋在笋箨、笋肉色泽, 笋体、笋箨形态及可食率等方面差异显著, 且竹笋内外品相存在关联性。总体而言, 浅色竹笋更具外观品质优势。

参考文献:

[1] 周琦, 陈季旺, 高俊, 等. 鲜切雷竹笋冷藏过程中木质化机理的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 307-311.

[2] Bhatt BP, Singh K, Singh A. Nutritional values of some commercial edible bamboo species of the North Eastern Himalayan region, India[J]. Journal of Bamboo & Rattan, 2005, 4(2): 111-124.

[3] Nirmala C, David E, Sharma M L. Changes in nutrient components during ageing of emerging juvenile bamboo shoots[J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 2007, 58(8): 612-618.

[4] 杨光, 王丹丹, 李琴, 等. 不同贮藏温度对雷竹笋品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(5): 233-239.

[5] 郭子武, 陈双林, 杨清平, 等. 雷竹林土壤和叶片N、P化学计量特征对林地覆盖的响应[J]. 生态学报, 2012, 32(20): 6361-6368.

[6] 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 6-11.

[7] 李会合. 蔬菜品质评价方法研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(13): 5920-5922.

[8] 李红丽, 于贤昌, 王华森, 等. 果菜类蔬菜品质研究进展[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2007, 38(2): 322-326.

[9] 江志标, 朱玲. 桐庐高节竹:“黑笋变白笋”畚民们的致富“秘笈”[J]. 浙江林业, 2017, 37(1): 16-17.

[10] Ribeiro N D, Casagrande C R, Mezzomo H C, et al. Consumer preference and the technological, cooking and nutritional quality of carioca beans[J]. Semina: Ciências Agrárias, 2019, 40(2): 651-664.

[11] 鞠焯, 江建平, 尹增芳, 等. 孝顺竹笋箨全长转录组测序分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2020, 44(6): 175-183.

[12] 白瑞华, 丁兴萃, 杜旭华, 等. 套袋栽培对高节竹笋品质的影响[J]. 浙江林业科技, 2011, 31(1): 64-67.

[13] 于增金, 殷彪, 刘松, 等. 培土栽培对麻竹笋品质的影响机理研究[J]. 西北植物学报, 2019, 39(5): 817-823.

[14] 马乃训, 赖广辉, 张培新, 等. 中国刚竹属[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2014.

[15] 丁武, 魏益民. 色彩色差计在肉品新鲜度检验中的应用[J]. 肉类研究, 2003(6): 22-48.

[16] 陆建良, 梁月荣, 龚淑英, 等. 茶汤色差与茶叶感官品质相关性研究[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 57-61.

[17] 吴瑞梅, 赵杰文, 陈全胜, 等. 绿茶汤色品质感官评价的色差仪表征方法研究[J]. 河南农业科学, 2014, 43(1): 149-153.

[18] 刘维信, 娄艳. 白菜品种叶片色泽参数相关和聚类分析[J]. 中国蔬菜, 2011(4): 35-38.

[19] 邓朝军, 吴琼, 许奇志, 等. 不同成熟度‘贵妃’枇杷果实色泽与糖酸含量关系[J]. 热带作物学报, 2016, 37(9): 1747-1751.

[20] 郭嘉明, 吕恩利, 陆华忠, 等. 荔枝果皮色差 a^* 值与其他品质指标的关联性[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 68-73, 153.

[21] 尹蓉, 张倩茹, 孟庆玲, 等. 不同红枣品种果实表面色差的研究[J]. 林业科技通讯, 2017(7): 68-72.

[22] Zhang W S, Chen K S, Zhang B, et al. Postharvest responses of Chinese bayberry fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(3): 241-251.

[23] 柳均, 汪宏毅, 张婷, 等. 烟叶褐变表观颜色值及其判别函数研究[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2018, 44(6): 587-591.

[24] 李悦, 符云鹏, 甄焕菊, 等. 烤烟烟叶颜色值和外观颜色变化分析[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(1): 78-84.

[25] 王玥, 裴顺祥, 孙敬爽, 等. 2种刺柏属彩色树叶色参数与色素变化[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(1): 138-146.

[26] Zhou LY, Wang Y Y, Hu X S, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 321-327.

[27] 郑炯, 宋家芯, 陈光静, 等. 腌制加工对麻竹笋质构和微观结构及色泽的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 85-88.

[28] 魏志峰, 李秋利, 高登涛, 等. 果实套袋对果实品质影响研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 36-41.

[29] 王婧. 浅议韭黄高产栽培技术[J]. 种子科技, 2019, 37(14): 76, 78.

[30] 郭子武, 江志标, 陈双林, 等. 覆土栽培对高节竹笋品质的影响[J]. 广西植物, 2015, 35(4): 515-519.

[31] 章志远, 丁兴萃, 崔逢欣, 等. 避光对麻竹笋苦涩味及单宁含量、形态与分布的影响[J]. 林业科学研究, 2016, 29(5): 770-777.

[32] 潘文忠. 绿竹笋用林培土措施对笋品质及产量的影响研究[J]. 世界竹藤通讯, 2007, 5(4): 38-41.

[33] 王海, 严铸云, 沈昱翔, 等. 丹参药材的颜色特征与有效成分的相

- 关性研究[J]. 中药新药与临床药理, 2014, 25 (3): 333-338. 2839-2844.
- [34] 刘艺, 王圳伊, 张晶, 等. 蓝莓果实色度值与化学成分含量的相关性研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30 (12): 189-194. [36] Fuentealba C, Hernandez I, Saa S, *et al.* Colour and *in vitro* quality attributes of walnuts from different growing conditions correlate with key precursors of primary and secondary metabolism[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 664-672.
- [35] 武艳雪, 翁丽丽, 姜雨昕, 等. 基于色差原理分析黄芩化学成分含量与色度相关性[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22 (8):

Correlation between External Color and Quality of Mulched *Phyllostachys violascens* Shoots

HE Yu-you, CHEN Shuang-lin, GUO Zi-wu, XU Sen

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To study the change of appearance color and the relationship between color and quality of *Phyllostachys violascens* shoots from mulched forest land in order to provide references for bamboo shoot production, management and quality evaluation. [Method] The color parameters, including lightness value (L), redness value (a), and yellowness value (b), in the lower, middle and upper parts of sheath and pulp were determined by colorimeter, and statistical analysis methods such as principal component analysis, cluster analysis, discriminant analysis, ANOVA and correlation analysis were carried out for these color parameters and morphological characters of mulched *Ph. violascens* shoots. [Result] The results showed that the L , a , and b of the middle and upper parts of bamboo sheaths were the main color parts and chromaticity factors of the bamboo shoot appearances. The color of bamboo shoots could be divided into three types (dark, medium and light) based on $L \times a \times b$ clustering. The consistent rate of discriminant analysis and cluster analysis was 95.6%, and the accuracy of regression validation was 93.3%, showing highly feasible and well effective of the clustering method. There were significant differences in the color of bamboo sheath and bamboo pulp among different color types of mulched *Ph. violascens* shoots, the same with the morphology of shoot and its sheath, the edible rate, etc., and a strong correlation existed between the internal and external products of the bamboo shoots. Bamboo shoots with lighter color had a well-proportioned yellowish-white appearance, bright white pulp, small and thin sheath, light-weighted stump, and the edible rate was higher by more than 11% compared with that of the darker ones. [Conclusion] The bamboo shoots of mulched *Ph. violascens* have abundant changes in appearance traits such as color, morphology, etc., and generally, light-colored bamboo shoots possess more appearance quality advantages.

Keywords: mulched *Phyllostachys violascens* shoots; color of bamboo sheath; quality; correlation

(责任编辑: 金立新)