

# 茶树品种(品系)芽叶色泽表型遗传数量分类研究

杨如兴, 孔祥瑞, 张磊, 陈芝芝, 尤志明\*

(福建省农业科学院茶叶研究所, 福建 福安 355015)

**摘要:** 为探讨茶树春梢芽叶色泽的数量遗传特性, 应用色差仪测定 68 份茶树品种(品系)春梢芽叶的色泽表型值并进行数量分类研究。结果表明, 对叶色差异度较高的第 1 叶位  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C$ 、 $H$  值进行分层聚类分析, 可将芽叶色泽划分为紫色系、黄色系和绿色系等 7 个色系。色系分类与 CIELab 颜色体系的对应性较强, 色系划分符合茶树品种(品系)叶色表型特点。茶树品系的叶色表型较丰富, 叶色在  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值三维坐标空间整体呈带状分布, 色系由紫色系、紫红色系、紫绿色系向黄色系、黄绿色系、绿色系变化。春梢芽叶色泽表型数据的遗传数量分类与色系判定为茶树特异芽叶色泽育种提供科学依据。

**关键词:** 茶树; 芽叶色泽; 表型性状; 数量分类; 分层聚类

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.012

## Numerical Taxonomy of Leaf Color Phenotypes for Tea (*Camellia sinensis*)

YANG Ru-xing, KONG Xiang-ru, ZHANG Lei, CHEN Zhi-zhi, YOU Zhi-ming\*

(Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Science, Fu'an 355015, Fujian, China)

**Abstract:** In order to understand the quantitative inheritance of leaf color of tea (*Camellia sinensis*) spring shoots, the numerical taxonomy of leaf color phenotypes of 68 tea cultivars was studied by using colorimeter. Based on hierarchical cluster from the values of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$ , and  $H$  of the first leaf, the tea cultivars could be divided into seven groups, such as purple, yellow, and green, et al. The color classification by hierarchical cluster had high identity to the CIELab system, which had close relation to the color phenotypes of tea cultivars. The leaf color phenotypes were rich with a zonal distribution at 3D coordinate of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  values, ranging from purple, purple-red and purple-green to yellow, yellow-green and green. Therefore, the numerical taxonomy of leaf color would provide a scientific basis for breeding special color of tea bud-leaf.

**Key words:** Tea; Bud-leaf color; Phenotypic characteristics; Numerical classification; Hierarchical cluster

花青素(Anthocyanidin)广泛存在于 27 科 73 属植物中<sup>[1]</sup>, 是一种天然食用色素。紫芽茶(*Camellia sinensis* ‘Ziya’)芽叶的花青素含量较高<sup>[2-6]</sup>, 白芽或黄白芽茶芽叶的茶氨酸含量普遍较高<sup>[7-8]</sup>, 其营养及药理作用受到极大关注<sup>[6,9-12]</sup>。紫娟(‘Zijuan’)<sup>[13]</sup>、黄金芽(‘Huangjinya’)<sup>[8]</sup>和安吉白茶(‘Anji-baicha’)<sup>[14]</sup>等品种的育成与推广, 为茶树芽叶特异色泽育种开辟了先河。特异芽叶色泽茶树品种资源的筛选与应

用, 将成为今后茶树育种的重点研究方向之一。

当前, 对茶树芽叶色泽分类按最大相似原则观察确定, 分为玉白色、黄绿色、绿色、紫绿色 4 种色泽类型<sup>[15]</sup>, 或田间目测将紫色茶树芽叶分为绿色、浅紫色、中紫色、深紫色和特紫色 5 个等级<sup>[4]</sup>。这两种目测颜色归类描述区间均较小, 且交叉色系目测判别偏差较大, 无法区分叶色的细微差别, 客观上存在一定判别局限性, 从而影响茶树特异芽叶

收稿日期: 2015-10-09 接受日期: 2015-12-29

基金项目: 国家农业产业技术体系项目(CARS-23); 福建省科技计划项目(2014R1012-9, 2011N3030)资助

This work was supported by the Projects of China Agriculture Research System (Grant No. CARS-23) and the Science and Technology Plan Projects in Fujian Province (Grant No. 2014R1012-9, 2011N3030).

作者简介: 杨如兴(1970-), 男, 副研究员, 主要从事茶树栽培与品种资源研究。E-mail: ruxing\_tea@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: youzm@faas.cn

色泽的判别鉴定和颜色归类的准确性。

目前应用色差仪对菊花(*Flos chrysanthemi*)、番茄(*Lycopersicon esculentum*)、黄瓜(*Cucumis sativus*)、柑橘(*Citrus reticulata*)、莲雾(*Syzygium samarangense*)、菠萝(*Ananas comosus*)、猕猴桃(*Actinidia chinensis*)等进行了测色研究<sup>[16-24]</sup>。而对茶树仅研究了叶片测色值与叶色变化的关系<sup>[25]</sup>，对叶色表型遗传数量的分类研究还未见报道。本文采用色差仪测定茶树芽叶色泽,对叶色表型性状进行分析归类和精细定量描述,结合目测叶色表型性状对各色系命名,为茶树品种资源叶色表型遗传多样性和遗传模型统计分析及茶树特异叶色品种资源开发利用奠定理论基础。

表1 供试材料及其来源

Table 1 Tea cultivars and origin

编号 No.	材料 Material	来源 Origin	编号 No.	材料 Material	来源 Origin	编号 No.	供试材料 Material	来源 Origin
01	新选-27	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	24	新选-10	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	47	顺昌-20	地方品系
02	茗科 1 号	铁观音(♀)×黄棧(♂) F <sub>1</sub> 代	25	新选-38	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	48	顺昌-18	地方品系
03	官思-11	地方品系	26	新选-36	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	49	顺昌-3-y	地方品系
04	紫牡丹	铁观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	27	新选-34	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	50	顺昌-17	地方品系
05	新选-32	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	28	新选-25	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	51	顺昌-16	地方品系
06	新选-29	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	29	新选-33	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	52	顺昌-21	地方品系
07	官思-14	地方品系	30	黄棧	地方品种	53	顺昌-15	地方品系
08	新选-5-1	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	31	新选-35	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	54	顺昌-14	地方品系
09	新选-4	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	32	新选-26	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	55	顺昌-3-n	地方品系
10	新选-3	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	33	新选-24	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	56	顺昌-13	地方品系
11	铁观音	地方品种	34	新选-23	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	57	顺昌-12	地方品系
12	新选-1	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	35	新选-30	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	58	顺昌-11	地方品系
13	官思-13	地方品系	36	新选-21	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	59	顺昌-5	地方品系
14	新选-6	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	37	新选-39	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	60	顺昌-10	地方品系
15	新选-7	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	38	新选-41	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	61	顺昌-9	地方品系
16	新选-17	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	39	新选-28	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	62	顺昌-8	地方品系
17	新选-20	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	40	新选-2	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	63	顺昌-7	地方品系
18	新选-37	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	41	新选-40	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	64	顺昌-1	地方品系
19	新选-8	金观音自然杂交 F <sub>1</sub> 代	42	官思-12	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	65	顺昌-2-n	地方品系
20	新选-15	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	43	新选-16	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	66	顺昌-2-y	地方品系
21	紫娟	地方品种	44	新选-43	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	67	顺昌-6	地方品系
22	新选-31	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	45	福鼎大白茶	地方品种	68	顺昌-4	地方品系
23	新选-9	金牡丹自然杂交 F <sub>1</sub> 代	46	白云特早	地方品系			

## 1.2 测色方法

应用上海汉普光电科技有限公司生产的 HP-200 精密色差仪,在光源 CIE C/8° 下测定茶树春梢叶片主脉一侧居中部位的颜色,每个品种(品系)测 5 个标准嫩梢,每个嫩梢测第 1~4 位共 4 个叶位,即每个品种(品系)每个叶位 5 次重复,测得  $L^*$ 、 $a^*$ 、

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试材料来自福建省农业科学院茶叶研究所社口镇二号山福建茶树品种资源圃(27°13'01.45" N, 119°34'26.54" E, 海拔 92~121 m),选择有代表性芽叶色泽的茶树品种(品系)资源,包括紫娟、紫牡丹('Zimudan')、茗科 1 号('Mingke 1')、福鼎大白茶('Fuding Dabaicha')、铁观音('Tieguanyin')和黄棧('Huangdan')等 6 个品种和 62 个品(株)系,共计 68 份,其中茶树自然杂交 F<sub>1</sub> 代新品系 35 个,地方品系 27 个,杂交品种 2 个,地方品种 4 个(表 1)。于 2015 年 4 月 28~30 日(晴天)采一芽四叶初展标准嫩梢进行测试。

$b^*$ 、C、H 共 5 个值。 $L^*$ 表示亮度,其值越大,则叶色亮度越高; $a^*$ (+)表示红的程度, $a^*(-)$ 表示绿的程度, $b^*$ (+)表示黄的程度, $b^*(-)$ 表示蓝的程度;C 为色度,表示到亮度轴上的距离,即距离越远,C 值越大;H 表示色相角,不同的色角度数表示不同颜色。

### 1.3 数据分析

针对茶树嫩梢芽叶色泽会随发育阶段发生较大变化, 先对不同叶位的 CIELab 参数进行变异系数和遗传多样性指数分析, 从而确定叶色分类目标叶位。色系划分采用非经典多元数据分析方法——基于主成分分析的分层聚类, 及其他统计分析均在 R3.1.2 中实现, 分析中涉及到的计算公式:

(1) 变异系数, 也称离散系数,  $CV = \sigma/\mu$ , 其中  $\sigma$  和  $\mu$  分别为表型值的标准差和均值。

(2) Shannon-Wiener 多样性指数<sup>[26]</sup>, 也称基因型多样性指数( $H'$ ),  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ,  $P_i$  为某性状第  $i$  级的分布频率。

### 1.4 叶色归类

参照 CIELab 体系<sup>[27-28]</sup>和 R 软件的程序包 FactoMineR<sup>[29]</sup>进行叶色参数分析、归类, 并参考紫娟、金观音、福鼎大白茶、白鸡冠(‘Baijiguan’)等 6 个品种资源的叶色描述和其它品系叶色表型性状的目测结果对所归类色系进行命名。

## 2 结果和分析

### 2.1 叶色分类目标叶位的选择

对 68 份供试材料不同叶位的 CIELab 值进行主成分分析, 其中 PC1 可解释 5 个变量方差的 92%,  $b^*$ 、 $C$  的载荷量均为 0.97。所以, 选择不同叶位的  $b^*$ 、 $C$  值进行变异系数和 Shannon-Wiener 多样性指数分析。结果表明, 同一叶位的  $b^*$ 、 $C$  均有相近的度量功效值, 但任选一个变量对不同叶位进行比较时, 第 1~4 叶位的变异系数依次递减, 多样性指数递增(表 2), 说明茶树嫩梢的第 1 叶位~第 4 叶位叶色多样性的丰富度相似。考虑到变异系数是所有材料而非同一品种(品系), 样本量相对有限, 以及茶树叶色不同叶位在发育过程差异较大等因素, 故选择第 1 叶位对茶树芽叶色泽表型遗传数量分类进行研究。

### 2.2 茶树品种资源叶色表型的分类

利用 R 软件的程序包 FactoMineR<sup>[29]</sup>对 68 份供试材料第 1 叶位的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C$ 、 $H$  值进行基于主成分分析的分层聚类, 结果可分成 4 组(图 1)。鉴于“非经典”多元分析是通过计算程序来改进结果, 主要强调几何直观演示<sup>[30]</sup>。所以, 基于图 1

又对包含品种数量较多的后 3 组进行亚分层聚类, 最终将 68 个品种(品系)划分成 7 个色系, 结合目测叶色表型性状将 7 个色系命名为紫色系、紫绿色系、紫红色系、带紫色系、黄色系、黄绿色系、绿色系(图 2)。

表 2 不同叶位  $b^*$ 、 $C$  的变异系数与多样性指数

Table 2 Coefficient of variation and diversity indices of  $b^*$  and  $C$  for leaves at different locations on plant

叶位 Leaf position	$b^*$		$C$	
	CV	$H'$	CV	$H'$
1	0.39	4.14	0.40	4.12
2	0.36	4.13	0.36	4.14
3	0.31	4.15	0.31	4.15
4	0.26	4.17	0.25	4.17

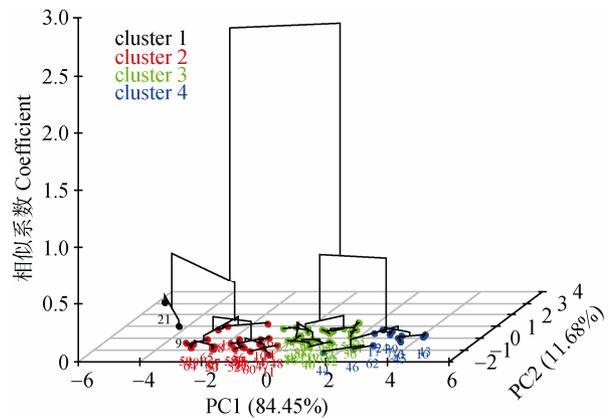


图 1 茶树品种(品系)叶色色差值的分层聚类

Fig. 1 Hierarchical cluster based on chromatic values of tea leaves

### 2.3 CIELab 颜色体系对分层聚类划分色系进行评价

CIELab 颜色体系是植物花果色泽研究中较为常用的颜色体系<sup>[27]</sup>。为了进一步对“非经典”多元分析结果进行评价, 将上述 7 个色系按 CIELab 体系进行叶色参数统计(表 3)。

对各色系的 CIELab 系统参数( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )进行分析, 表明 7 个色系的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值特征十分明显(图 3), 可以较好地地区分不同色系。紫色系、紫红色系、紫绿色系的  $L^*$  较小, 其余色系的  $L^*$  值较大, 居中分布较少;  $b^*$  值与  $L^*$  值的分布特征极为相似; 紫色系、紫绿色系、紫红色系的  $a^*$  值较大, 居中偏正值分布, 其他色系的  $a^*$  则多为负值分布。从而说明, 基于“非经典多元统计”的色系分类法与 CIELab 颜色体系之间对应性较强, 色系划分较为合理, 且符合茶树品种(品系)的叶色表型特点。



图2 7大色系对应叶色表型。A: 紫色系; B: 紫绿色系; C: 紫红色系; D: 带紫色系; E: 黄色系; F: 黄绿色系; G: 绿色系。

Fig. 2 Seven color groups corresponding to color phenotypes of tea leaves. A: Purple; B: Purple green; C: Mauve; D: Slight purple; E: Yellow; F: Yellow-green purple; G: Green.

表3 茶树品种(品系)色系表型的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值分布范围

Table 3 Distribution range of color group of tea cultivars based on hierarchical cluster

序号 No.	色系 Color group	品种数量 Number of cultivar	%	CIE Lab 颜色系统 CIE Lab coordinate				
				$L^*$	$a^*$	$b^*$	C	H
1	紫色系 Purple	2	0.03	31.05~32.56	1.00~3.58	3.44~7.85	5.12~8.26	47.48~72.40
2	紫绿色系 Purple green	16	0.24	37.36~42.55	-6.92~-0.02	12.40~19.39	12.40~19.39	89.23~112.26
3	紫红色系 Mauve	10	0.15	32.80~38.20	-1.96~-0.29	7.38~12.32	7.66~12.32	84.09~101.95
4	带紫色系 Slight purple	28	0.41	39.09~49.09	-8.70~-1.97	19.25~29.43	19.28~30.23	94.40~110.61
5	黄色系 Yellow	4	0.06	46.46~49.69	-11.53~-9.15	29.29~33.05	30.78~35.07	106.56~109.23
6	黄绿色系 Yellow-green purple	5	0.07	47.56~49.92	-14.60~-12.93	32.01~35.68	34.59~38.71	111.02~114.59
7	绿色系 Green	3	0.04	44.28~44.77	-13.64~-11.06	22.34~29.46	24.94~32.49	114.94~116.34

## 2.4 叶色表型分布特点

从 CIE Lab 颜色体系可知, 供试茶树品种(品系)的叶色表型相对丰富。68 份供试材料的叶色在  $a^*$ 、 $b^*$  色相坐标上, 主要集中分布在 I、II 象限, 而在第 III、IV 象限没有分布(图 4: A)。在第 I 象限主要分布紫色和紫红色系品种(品系), 第 II 象限主要分布其他 5 个色系的品种(品系)。 $a^*$  值为 -14.60~3.58,  $b^*$  值为 3.44~35.68, H 值为 47.48~116.34。供试材料叶色在  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值三维空间坐标上整体呈带域分布(图 4: B),  $L^*$  值为 31.05~49.92, C 值为 5.12~38.71。

68 个茶树品种(品系)叶色的  $a^*$ 、 $b^*$  值满足拟合曲线  $b^* = 9.9730 - 2.0635a^* + 0.0176a^{*2} + 0.0036a^{*3}$  ( $r^2 = 0.7747$ ,  $F = 77.8$ ), 呈从 I 象限向 II 象限斜向上分布。从图 5: A 可看出, 在二维色相空间中 7 个色系的明度  $L^*$  随彩度 C 增大而增大, 斜率近似为坐标系对角

线。明度  $L^*$  与彩度 C 值的线性回归拟合水平  $r^2 = 0.87$  (图 5: B)。

## 3 讨论

应用色差仪和 CIE Lab 体系及 R 软件程序包 FactoMineR<sup>[29]</sup> 对某些植物进行叶色参数分析、归类研究方法较成熟。本研究是利用 R 软件程序包 FactoMineR 对叶色差异度进行分析并确定目标叶位, 然后对目标叶位的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、C、H 值进行基于主成分分析的分层聚类划分色系, 再用基于“非经典多元统计”的色系分类法与 CIE Lab 颜色体系之间的对应性来判定色系划分的合理性。结果表明, 供试材料叶色的分类符合茶树品种(品系)的叶色表型特点, 该分类方法相对目测而言易行、可靠,

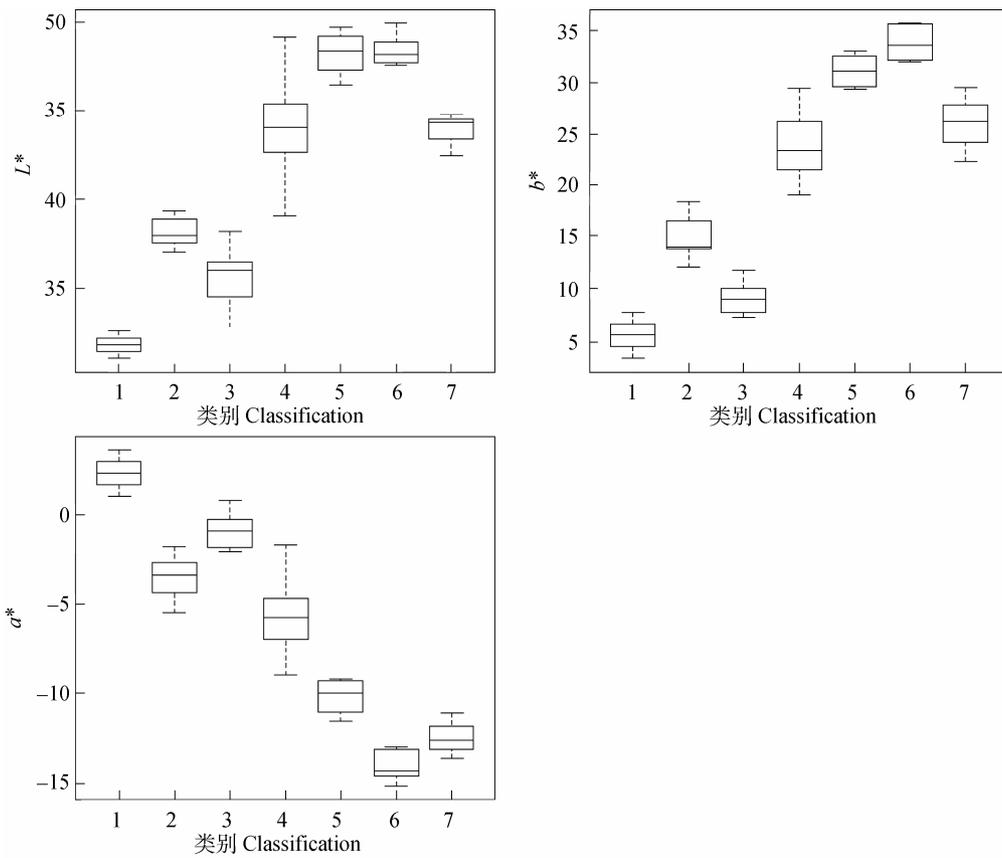


图 3 茶树品种(品系)各色系  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值箱线图。1: 紫色系; 2: 紫绿色系; 3: 紫红色系; 4: 带紫色系; 5: 黄色系; 6: 黄绿色系; 7: 绿色系。

Fig. 3 Box plot of colors of tea cultivars according to  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ . 1: Purple; 2: Purple green; 3: Mauve; 4: Slight purple; 5: Yellow; 6: Yellow-green purple; 7: Green.

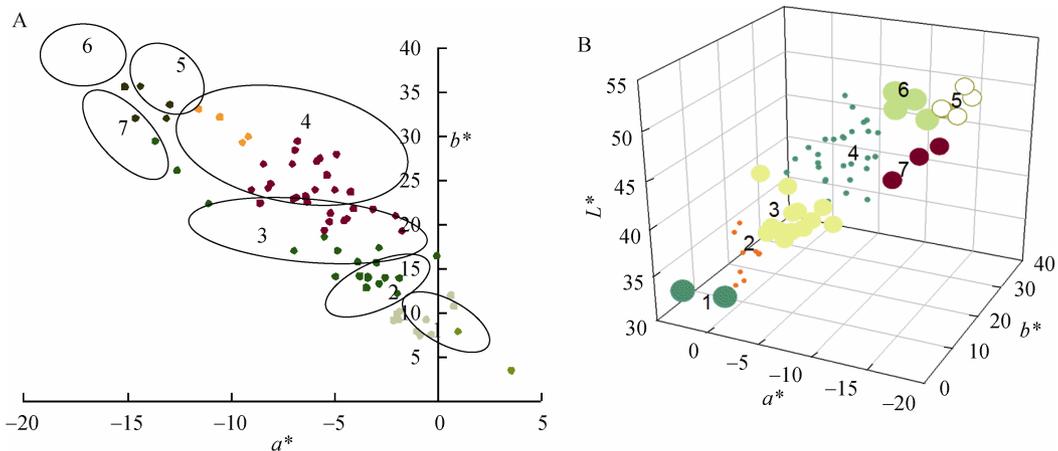


图 4 茶树品种(品系)的叶色表型分布。1: 紫色系; 2: 紫绿色系; 3: 紫红色系; 4: 带紫色系; 5: 黄色系; 6: 黄绿色系; 7: 绿色系。

Fig. 4 Leaf color distribution of tea cultivars. 1: Purple; 2: Purpler green; 3: Mauve; 4: Slight purple; 5: Yellow; 6: Yellow-green purple; 7: Green.

可区分叶色程度上的细微差别, 进一步扩大现有颜色描述区间, 减少客观存在的叶色目测判别偏差, 能较准确、规范地对复杂的茶树芽叶色泽进行判别、归类和精细定量描述。

茗科 1 号等 6 个茶树品种的芽叶色泽特征明显, 且均有过描述<sup>[31]</sup>。本研究参考茗科 1 号、紫牡丹、铁观音、紫娟、黄桃、福鼎大白茶等具代表性芽叶色泽茶树品种(品系)的叶色描述和叶色表型性

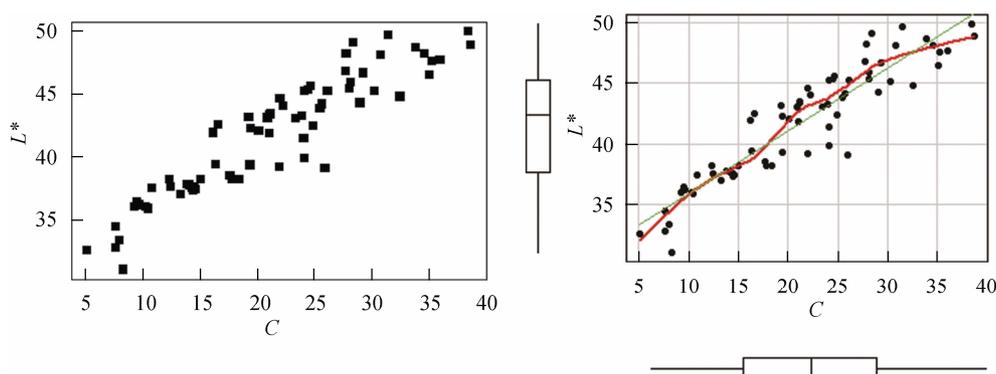


图5 茶树品种(品系)叶色  $L^*$  与  $C$  值关系。A: 散点图; B: 线性拟合。

Fig. 5 Correlation between  $L^*$  and  $C$  of tea cultivars. A: Scatter plot; B: Linear regression.

状目测结果进行颜色命名。在7个色系分类中, 新选-4 与紫娟<sup>[5,13]</sup>叶色相似, 归为紫色系, 属特异色泽新品系; 新选-3、新选-6、顺昌 3-n、顺昌-7、顺昌-9 等15个新品系与铁观音叶色相似, 归为紫绿色系; 顺昌-1、顺昌 2-n、顺昌 3-y、新选-7 等10个新品系归为紫红色系; 新选-10、新选-20、新选-28、官思-14 等4个新品系归为黄色系; 官思-11、新选-16、新选-17 等3个新品系与黄桠、福鼎大白茶叶色相似, 归为黄绿色系; 白云特早、顺昌-8、新选-43 等3个新品系归为绿色系; 新选-1、新选-2、新选 5-1、新选-8、新选-9、新选-15、官思-12 等28个新品系与金观音、紫牡丹芽叶色泽相似, 归为带紫色系。从上述色系分类而言, 这些茶树品种的叶色与田间目测结果基本一致, 与相关文献的叶色描述相符合<sup>[5,31]</sup>。此外, 因供试品种(品系)尚未涉及安吉白茶、白鸡冠等特异色泽品种<sup>[32-33]</sup>, 所以, 是否将“玉(黄)白色系”并入本研究的7个色系中, 以8个色系作为茶树春梢芽叶色泽表型数据的遗传数量分类依据还有待进一步研究。当然也可将上述8个色系归为4大类色系: ①紫色系(含紫色、紫红色、紫绿色、带紫色); ②黄色系(含黄色、黄绿色); ③绿色系; ④玉白色系(含玉白色、黄白色)。这样既与现行茶树种质资源描述规范基本一致<sup>[15]</sup>, 又能将交叉复杂的叶色表型遗传性状进一步细分。

长期以来, 茶树育种更侧重于茶叶产量和品质性状的研究, 当前在茶叶产能相对过剩的大背景下, 茶树育种正向高抗、特异和功能性成分育种转移。已有研究表明, 紫芽茶芽叶花青素含量较高<sup>[2-6]</sup>, 白芽或黄白芽茶芽叶茶氨酸含量普遍较高<sup>[7-8]</sup>, 说明了茶树特异芽叶色泽与其生化成分关

系密切。紫娟<sup>[13]</sup>、安吉白茶<sup>[14]</sup>等富含花青素、氨基酸等特异芽叶色泽茶树品种(品系)的成功选育与推广应用, 取得了显著的经济、社会效益, 前景广阔。本研究在广泛收集、妥善保存、系统鉴定福建茶树品种资源的基础上, 对茶树春梢芽叶色泽表型数据的遗传数量进行分类与色系判定, 将参试品种(品系)的芽叶色泽表型数量准确细分为紫色、黄色等7个色系, 其中初步判别出紫色系、紫绿色系、紫红色系和带紫色系的供试品种(品系)共56个, 占供试材料总数的83.0%, 这将为紫芽核心种质构建、特异色泽育种早期鉴定、富含功能性成分定向育种提供了较为可靠的判别依据和物质基础, 使得以芽叶色泽为主体的品系筛选目标更加明确, 针对性也更强, 对今后茶树育种具有重要的指导和现实意义。

## 参考文献

- [1] SARMA A D, SREELAKSHMI Y, SHARMA R. Antioxidant ability of anthocyanins against ascorbic acid oxidation [J]. *Phytochemistry*, 1997, 45(4): 671-674. doi: 10.1016/S0031-9422(97)00057-5.
- [2] LIU F Z, HUANG J A, FU D H, et al. Biochemical properties of new shoots of tea trees [J]. *J Hunan Agri Univ*, 2000, 26(1): 41-42,57. doi: 10.3321/j.issn:1007-1032.2000.01.012.  
刘富知, 黄建安, 付冬和, 等. 茶树上红紫色芽叶部分生化特性的研究 [J]. *湖南农业大学学报*, 2000, 26(1): 41-42,57. doi: 10.3321/j.issn:1007-1032.2000.01.012.
- [3] WU H L, HE Y M, LI J X, et al. Shoot traits and biological compositions among eleven new tea germplasms with reddishviolet shoots [J]. *J Plant Genet Resour*, 2012, 13(1): 42-47. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2012.01.007.  
吴华玲, 何玉媚, 李家贤, 等. 11个红紫芽茶树新品系的芽叶特性

- 和生化成分研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 42–47. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2012.01.007.
- [4] XIAO L Z, SU X Q, LI Q, et al. Biochemical components in the shoot of purple bud tea varieties [J]. J Fujian Agri For Univ (Nat Sci), 2009, 38(1): 30–33.  
萧力争, 苏晓倩, 李勤, 等. 紫芽品种茶树春梢芽叶生化成分分析 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2009, 38(1): 30–33.
- [5] CAI L, LIANG M Z, XIA L F, et al. Study on exterior appearance difference of ‘Zijuan’ [J]. SW China J Agri Sci, 2010, 23(3): 700–703. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2010.03.018.  
蔡丽, 梁名志, 夏丽飞, 等. “紫娟”茶外观表象差异研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(3): 700–703. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2010.03.018.
- [6] WANG J H, YUE G, LIU S J. Research on biochemical components of purple bud-tea and development of health beverage containing them [J]. Bever Ind, 2003, 6(1): 15–18. doi: 10.3969/j.issn.1007-7871.2003.01.004.  
王建晖, 岳光, 刘士健. 紫芽茶生化成分及其保健饮料的研究与开发 [J]. 饮料工业, 2003, 6(1): 15–18. doi: 10.3969/j.issn.1007-7871.2003.01.004.
- [7] LU J L, LIANG Y R, NI X H, et al. Changes of physiological and biochemical characters during stage albescent process of Anji Baicha [J]. J Zhejiang Agri Univ, 1999, 25(3): 245–247.  
陆建良, 梁月荣, 倪雪华, 等. 安吉白茶阶段性返白过程中的生理生化变化 [J]. 浙江农业大学学报, 1999, 25(3): 245–247.
- [8] WANG K R, LI M, LIANG Y R, et al. Breeding of tea cultivar ‘Huangjinya’ [J]. China Tea, 2008, 30(4): 21–23. doi: 10.3969/j.issn.1000-3150.2008.04.007.  
王开荣, 李明, 梁月荣, 等. 茶树新品种黄金芽选育研究 [J]. 中国茶叶, 2008, 30(4): 21–23. doi: 10.3969/j.issn.1000-3150.2008.04.007.
- [9] ZHANG C G, DONG J B, WANG Z X. Proanthocyanidin and its development and application [J]. Sichuan Food Ferment, 2006, 42(1): 8–12. doi: 10.3969/j.issn.1674-506X.2006.01.003.  
张长贵, 董加宝, 王祯旭. 原花色素及其开发应用 [J]. 四川食品与发酵, 2006, 42(1): 8–12. doi: 10.3969/j.issn.1674-506X.2006.01.003.
- [10] SHI S C, GAO Y K, ZHANG X H, et al. Progress on plant genes involved in biosynthetic pathway of anthocyanins [J]. Bull Bot Res, 2011, 31(5): 633–640.  
石少川, 高亦珂, 张秀海, 等. 植物花青素生物合成相关基因的研究及应用 [J]. 植物研究, 2011, 31(5): 633–640.
- [11] YU S C, SU T, YANG J M, et al. Decreasing effect of polysaccharide in Anji white tea on blood glucose in tested mice [J]. J Tea Sci, 2010, 30(3): 223–228.  
于淑池, 苏涛, 杨建民, 等. 安吉白茶多糖对实验性糖尿病小鼠的降血糖作用研究 [J]. 茶叶科学, 2010, 30(3): 223–228.
- [12] XIA D Z, ZHANG Y J, NI D M, et al. Study on antitumor and immune regulation activities of Anjibaicha polysaccharide [J]. J Tea Sci, 2013, 33(1): 40–44.  
夏道宗, 张元君, 倪达美, 等. 安吉白茶多糖抗肿瘤及免疫调节研究 [J]. 茶叶科学, 2013, 33(1): 40–44.
- [13] BAO Y X, XIA L F, LI Y Y, et al. A new tea tree cultivar ‘Zijuan’ [J]. Acta Hort Sin, 2008, 35(6): 934. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2008.06.032.  
包云秀, 夏丽飞, 李友勇, 等. 茶树新品种‘紫娟’ [J]. 园艺学报, 2008, 35(6): 934. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2008.06.032.
- [14] LI S F. New tea cultivar for processing high quality product: Anjibaicha [J]. China Tea, 1999(4): 24.  
李素芳. 适制名特优茶的茶树新品种——安吉白茶 [J]. 中国茶叶, 1999(4): 24.
- [15] CHEN L, YANG Y J, YU F L, et al. Descriptors and Data Standard for Tea (*Camellia* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 50.  
陈亮, 杨亚军, 虞富莲, 等. 茶树种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 50.
- [16] HONG Y, BAI X X, SUN W, et al. The numerical classification of chrysanthemum flower color phenotype [J]. Acta Hort Sin, 2012, 39(7): 1330–1340.  
洪艳, 白新祥, 孙卫, 等. 菊花品种花色表型数量分类研究 [J]. 园艺学报, 2012, 39(7): 1330–1340.
- [17] SUN W, LI C H, WANG L S, et al. Analysis on measuremental position of ligulate floret color of *Chrysanthemum* [J]. Acta Hort Sin, 2010, 37(5): 777–784.  
孙卫, 李崇晖, 王亮生, 等. 菊花舌状花花色测定部位的探讨 [J]. 园艺学报, 2010, 37(5): 777–784.
- [18] GUO Y M, DU Y C, WANG X X, et al. Studies on estimating lycopene content of tomato fruits by using color difference meter [J]. China Veget, 2008(11): 10–14.  
国艳梅, 杜永臣, 王孝宣, 等. 利用色差仪估测番茄果实番茄红素含量的研究 [J]. 中国蔬菜, 2008(11): 10–14.
- [19] ZHOU R, JIANG F L, LIANG M, et al. Quantitative analysis of lycopene content in tomato fruit by using colorimeter method [J]. Acta Agri Jiangxi, 2012, 24(9): 45–48, 50. doi: 10.3969/j.issn.1001-8581.2012.09.011.  
周蓉, 蒋芳玲, 梁梅, 等. 用色差仪法定量分析番茄果实番茄红素的含量 [J]. 江西农业学报, 2012, 24(9): 45–48, 50. doi: 10.3969/j.issn.1001-8581.2012.09.011.
- [20] SHEN D, FANG Z Y, LI X X, et al. Inheritance of fruit flesh color in

- Cucumis sativus* L. [J]. *J Plant Genet Resour*, 2011, 12(2): 216–222.
- 沈镛, 方智远, 李锡香, 等. 黄瓜果肉色的遗传分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 216–222.
- [21] QIAN J B, GUO Y P, CHEN Z M, et al. Impacts of Citrus under protected cultural conditions on physical and chemical properties of soil and its fruit quality [J]. *J Zhejiang Agri Sci*, 2007(1): 28–29, 34. doi: 10.3969/j.issn.0528-9017.2007.01.010.
- 钱皆兵, 郭延平, 陈子敏, 等. 柑橘设施栽培对土壤理化性质和果实品质的影响 [J]. *浙江农业科学*, 2007(1): 28–29, 34. doi: 10.3969/j.issn.0528-9017.2007.01.010.
- [22] WEI X Q, ZHANG X J, YU D, et al. Changes of color and pigments in nongke 2 wax jambu pericarp at different developmental phase [J]. *Chin J Trop Crops*, 2012, 33(11): 1985–1990. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2012.11.013.
- 魏秀清, 章希娟, 余东, 等. 莲雾农科二号果实发育过程中果皮色泽和色素的变化 [J]. *热带作物学报*, 2012, 33(11): 1985–1990. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2012.11.013.
- [23] YANG X Y, CAI Y B, LI S P, et al. Changes of color and pigments in pineapple fruit flesh at different developmental phase [J]. *Chin J Trop Crops*, 2009, 30(5): 579–583. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2009.05.004.
- 杨祥燕, 蔡元保, 李绍鹏, 等. 菠萝果实不同发育阶段色泽和色素的变化 [J]. *热带作物学报*, 2009, 30(5): 579–583. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2009.05.004.
- [24] HUANG C H, GE C L, GAO J, et al. Dynamic changes in flesh color in different kiwifruit types during fruit development [J]. *Acta Agri Univ Jiangxi*, 2014, 36(3): 501–506. doi: 10.13836/j.jjau.2014081.
- 黄春辉, 葛翠莲, 高洁, 等. 不同类型猕猴桃果实发育过程中内果皮色泽的动态变化 [J]. *江西农业大学学报*, 2014, 36(3): 501–506. doi: 10.13836/j.jjau.2014081.
- [25] LIU D M, LIAO S W. Individual difference of leaf color and main chemical component of tea local cultivar [J]. *J Tea Commun*, 1986(4): 10–14.
- 刘东明, 廖述文. 茶树群体品种叶色与主要化学成分的个体差异 [J]. *茶叶通讯*, 1986(4): 10–14.
- [26] DONG Y S, CAO Y S, ZHANG X Y, et al. Establishment of candidate core collections in Chinese common wheat germplasm [J]. *J Plant Genet Resour*, 2003, 4(1): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2003.01.002.
- 董玉琛, 曹永生, 张学勇, 等. 中国普通小麦初选核心种质的产生 [J]. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(1): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2003.01.002.
- [27] BAI X X, HU K, DAI S L, et al. Components of flower pigments in the petals of different color *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cultivars [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, 28(5): 84–89. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2006.05.014.
- 白新祥, 胡可, 戴思兰, 等. 不同花色菊花品种花色素成分的初步分析 [J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28(5): 84–89. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2006.05.014.
- [28] ZHENG Y L, YANG S H, ZHOU S S, et al. Research on uniformity of CIE 1976 LAB color difference formula [J]. *Packag Eng*, 2005, 26(2): 48–49, 65. doi: 10.3969/j.issn.1001-3563.2005.02.017.
- 郑元林, 杨淑蕙, 周世生, 等. CIE 1976LAB 色差公式的均匀性研究 [J]. *包装工程*, 2005, 26(2): 48–49, 65. doi: 10.3969/j.issn.1001-3563.2005.02.017.
- [29] LÊ S, JOSSE J, HUSSON F. FactoMineR: An R package for multivariate analysis [J]. *J Stat Softw*, 2008, 25(1): 1–18.
- [30] WU X Z. *Sophisticated Statistical Methods Based on R—Application* [M]. 2nd ed. Beijing: Chinese People's University Press, 2013: 135–144.
- 吴喜之. *复杂数据统计方法——基于 R 的应用* [M]. 第 2 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2013: 135–144.
- [31] YANG Y J, LIANG Y R. *China Clone Tea Varieties* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2014: 7–134.
- 杨亚军, 梁月荣. *中国无性系茶树品种志* [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2014: 7–134.
- [32] CHENG H, LI S F, CHEN M, et al. Physiological and biochemical essence of the extraordinary characters of Anji Baicha [J]. *J Tea Sci*, 1999, 19(2): 87–92. doi: 10.3969/j.issn.1000-369X.1999.02.002.
- 成浩, 李素芳, 陈明, 等. 安吉白茶特异性状的生理生化本质 [J]. *茶叶科学*, 1999, 19(2): 87–92. doi: 10.3969/j.issn.1000-369X.1999.02.002.
- [33] BAI K Y. *Tea Varieties in China* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2001: 73–216.
- 白堃元. *中国茶树品种志* [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001: 73–216.