

# 黄光萎凋对红茶品质的影响

张贝贝 艾仄宜 曲凤凤 余志 陈玉琼 倪德江

华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070

**摘要** 在萎凋过程利用黄光照射茶叶,分析黄光处理对红茶品质的影响。结果表明,黄光照射处理对红茶的外形和汤色品质影响较小,香气和滋味品质显著提高,香气的甜度以及滋味的鲜爽度和甜度显著提高。理化分析结果表明,除多酚和可溶性糖外,黄光处理对红茶的儿茶素、茶黄素、氨基酸和香气成分的影响较显著。红茶经过黄光处理后,其儿茶素总量提高21.6%、茶黄素含量提高17.6%、氨基酸含量提高6.8%,香气总量增加21.7%,而醛酮类和烷烯炔类变化较小。

**关键词** 红茶;萎凋工艺;黄光萎凋;儿茶素;茶黄素;香气成分;感官品质

**中图分类号** TS 272 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)02-0108-07

光对植物生化成分的影响主要通过植物光合作用调节初级代谢,进而对次生代谢产生影响<sup>[1-3]</sup>。Talbot等<sup>[4]</sup>研究显示,蓝光处理30 min后保卫细胞中苹果酸升高了73%,处理2 h后糖含量升高115%,而红光处理2 h后蔗糖含量升高108%。王丽娟<sup>[5]</sup>研究表明,蓝膜处理的草莓果实中酚类、黄酮类含量最高,而红膜处理较低。此外,光质还对植物中的一些酶有一定的调控作用。如红光、蓝光可显著提高番茄幼苗中多酚氧化酶、超氧化物歧化酶和抗坏血酸过氧化物酶的活性,绿光显著降低了过氧化氢酶的活性,红、黄、蓝光对过氧化氢酶的活性无明显影响<sup>[6]</sup>。

红茶是世界上生产量、消费量、贸易量最大的一类茶叶,其一般的加工工序为鲜叶—萎凋—揉捻(切)—发酵—干燥,其中萎凋是影响红茶品质的关键工序之一。红茶的萎凋方式一般可以分为室内自然萎凋、萎凋槽萎凋和日光萎凋,影响萎凋的主要因素有空气温度<sup>[7-9]</sup>、湿度<sup>[7-8,10]</sup>、风速<sup>[7-8,11]</sup>和光照。有关日光萎凋的研究较少。滑金杰<sup>[12]</sup>研究了萎凋光照强度对萎凋叶含水率、容重、柔软性、弹性、塑性、色差等物理特性以及呼吸特性的影响,并对后续加工叶的物理特性进行了测定,表明6 000 lx处理的干茶样汤色和外形得分最高,品质最优。张贝

贝<sup>[13]</sup>在萎凋过程利用紫外光、黄光、蓝光、橙光、紫光、红光、青光、绿光、白光(对照)进行照射处理,表明不同光质萎凋对红茶的香气和滋味影响明显,黄光、红光和橙光处理的红茶甜香高而持久,滋味鲜醇,品质最优。笔者进一步以黄光为光源,系统分析黄光处理后红茶感官品质和主要内含化学成分的变化,为在红茶加工中引进黄光萎凋技术进而提高红茶品质提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

2012年7月25日月采自湖北省武汉市华中农业大学教学茶园,品种为福鼎大白,采摘标准为一芽一二叶。

### 1.2 试验方法

在自制的光照萎凋槽中进行萎凋,萎凋槽的设计详见参考文献[14]。黄光波长为585~590 nm,实际测量照射强度 $(1\ 266.7 \pm 155.7)$  lx,摊叶厚度5 cm,萎凋过程中光照时间为9 h,每隔1.5 h翻动叶子1次,使其光照均匀,吹风时间为5~6 h,萎凋4 h左右时停止吹风1~2 h,之后再吹风。萎凋室温度26℃,空气相对湿度70%,萎凋时控制茶叶含水量 $(60 \pm 1)\%$ 。萎凋结束后,萎凋叶用6CRQ-20

收稿日期: 2015-09-23

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAF07B05-2); 中央高校基本科研业务费专项(2662015PY136); 云南省省校省院合作项目(2013IB023)

张贝贝, 硕士, 研究方向: 茶叶加工. E-mail: 315985876@qq.com

通信作者: 倪德江, 博士, 教授, 研究方向: 茶叶加工与功能化学. E-mail: nidj@mail.hzau.edu.cn

型转子揉切机揉切5次,时间约为15 min,然后过筛开始发酵。发酵利用JFF-400型空气加湿器,温度30℃,空气相对湿度80%,发酵时间5.5 h,中途发酵2 h时翻动茶堆1次。发酵结束立即用远红外烘箱(DADE-3)干燥。毛火用135℃烘30 min,中间每隔15 min快速翻动1次;足火用105℃烘至足干,中间每隔20 min翻动1次,避免受热不均匀导致茶叶烘焦,时间2 h。试验3次重复。

### 1.3 分析方法

1)水分、氨基酸、茶多酚、可溶性糖含量测定。水分测定采用常压干燥法(120℃干燥1 h后称质量)<sup>[15]</sup>。氨基酸含量采用茚三酮显色法<sup>[15]</sup>;茶多酚含量采用福林酚法(GB/T 8313—2008)<sup>[16]</sup>;可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[15]</sup>。

2)茶叶儿茶素组分。样品处理参照文献<sup>[16]</sup>中的样品提取方法,在70℃水浴条件下用70%甲醇提取10 min,经300 r/min离心后过0.45 μm滤膜后待测。测定仪器为:LC1200,Agilent,USA;色谱柱(Agela technologies,TC-C18柱),流动相:A相:水(9%乙腈,0.2%EDTA,2%乙酸),B相:(80%乙腈,0.2%EDTA,2%乙酸);流速1 mL/min;进样量5 μL;紫外光检测波长:280 nm;柱温:35℃;按照表1进行梯度洗脱。

表1 儿茶素组分HPLC法梯度洗脱条件

Table 1 The condition of HPLC gradient elution on catechin

时间/min Time	0	2	5	10	15	20	25
流动相 A/% Mobile phase A	80	80	75	75	65	65	80
流动相 B/% Mobile phase B	20	20	25	25	35	35	20

3)游离氨基酸组分分析。按照文献<sup>[17]</sup>方法,其中仪器为日立L-8800全自动氨基酸分析仪,分离柱为Ion exchange column 2622sc, pH, 4.6 mm×60 mm。柱温:分离柱57℃,反应柱135℃。柱压:泵1为10.0 MPa,泵2为1.07 MPa。除氨柱:Ion exchange column 2622sc, pH, 4.6 mm×60 mm。流速:泵1为0.40 mL/min,泵2为0.35 mL/min。

4)香气成分分析。香气精油提取采用SDE法,茶水比为每克茶叶对应20 mL水,茶叶(茶粉)用量50 g,用50 mL无水乙醚作为萃取剂,加入癸酸乙酯内标液0.5 mL(含量4 μL/100 mL),萃取时间为1 h。萃取液用无水硫酸钠吸收水分,吹氮浓缩。GC-MS(TraceGM-PolarisQ MS)分析条件:以He

作载气,流速1.0 mL/min;程序升温(DB-5MS毛细柱:30 m×0.25 mm×0.22 μm),40℃,保留时间2 min,以3.0℃/min程序升温至85℃,保留时间2 min,再以2.0℃/min程序升温至110℃,保留时间2 min,之后以5℃/min程序升温至160℃,保留时间1 min,再以5℃/min程序升温至220℃,保留时间5 min。进样量为1 μL,电离方式为EI,电子能量为70 eV,扫描范围为50~650 amu。香气成分定性和定量分析:对质谱鉴定结果进行筛选,再对各出峰位置进行定性,利用各成分峰面积与内标峰的面积之比计算该香气成分的相对含量。

5)茶黄素分析。主要仪器设备:Agilent LC1200型高效液相色谱仪和Agela technologies TC-C18色谱柱。茶黄素测试液的分离提取:称取4.000 g茶粉到250 mL三角瓶中,加200 mL煮沸的蒸馏水,沸水浴搅拌浸提10 min,然后用脱脂棉过滤,滤液迅速冷却到室温。取100 mL滤液加入到500 mL分液漏斗中,加入等体积氯仿振荡萃取2 min,静置后除去下层氯仿层,反复萃取3次。再加入100 mL乙酸乙酯振荡萃取2 min,静置后弃下水层,脂层中加入100 mL 0.05 mol/L的Tris-HCl缓冲液洗脱30 s,静置分层后弃水层。脂层用旋转蒸发仪减压蒸法,温度为45℃。蒸干的物质用10 mL甲醇溶解,过0.45 μm滤膜后待测(24 h内测定)。样品测定与儿茶素组分的色谱条件相同。

### 1.4 数据处理

所有试验数据使用Excel及DPS v7.05处理分析,以百分含量的数据在进行方差分析时先作反正弦转换,然后进行邓肯氏复极差多重比较,分析其差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄光萎凋对红茶感官品质的影响

审评结果(表2)表明,黄光照射处理对红茶的外形品质、汤色褐叶底的影响较小,但显著提高了红茶的香气和滋味品质,香气的甜度以及滋味的鲜爽度和甜度提高。

### 2.2 黄光萎凋对红茶主要品质成分的影响

茶多酚及儿茶素分析结果见表3。黄光处理的茶叶茶多酚含量与对照差异不显著,但儿茶素差异显著。黄光处理的儿茶素总量显著高于对照21.6%,其中表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)和表儿茶素没食子酸酯(ECG)含量极显著提高,没

表 2 感官审评结果

Table 2 Organoleptic appreciation for black tea

处理 Treatment	外形色泽 Appearance	汤色 Liquid color	香气 Aroma	滋味 Taste	叶底 Infused leaf	总分 Total score
黄光 Yellow light	棕褐 Brown 89	红明 Red and clear 92	鲜甜 Fresh and sweet 92	鲜甜 Fresh and sweet 92	红明 Red and clear 92	91.7
对照 CK	棕褐 Brown 89	红明 Red and clear 91.5	甜纯 Sweet and pure 82	醇和 Pure and mild 82	红明 Red and clear 92	84.7

注 Note:外形色泽 10% Appearance 10%; 香气 35% Aroma 35%; 汤色 10% Liquid color 10%; 滋味 35% Taste 35%; 叶底 10% Infused leaf 10%.

表 3 多酚及儿茶素含量

Table 3 Contents of polyphenols and catechins of black tea

处理 Treatment	茶多酚 Polyphenol	GC	EGC	C	EGCG	EC	ECG	儿茶素总量 Total content
黄光 Yellow light	9.05±0.71a	8.18±1.29a	4.81±0.39a	0.76±0.18a	2.21±0.27Aa	0.36±0.14a	1.37±0.08Aa	17.70±1.75a
对照 CK	8.81±0.58a	6.47±1.29b	4.90±0.47a	0.63±0.02a	1.36±0.02Bb	0.16±0.01b	1.03±0.05Bb	14.55±1.70b

注:GC:没食子儿茶素 Gallocatechin; EGC:表没食子儿茶素 Epigallocatechol; C:儿茶素 Catechin; EGCG:表没食子儿茶素没食子酸酯 Epigallocatechin gallate; EC:表儿茶素 Epicatechin; ECG:表儿茶素没食子酸酯 Epicatechin gallate;表中同一列相同字母表示经 Duncan's 法检验在 0.01 或 0.05 水平差异不显著,下同。Note:The different letter in the same list indicated that there is no significant difference between the treats through Duncan's test. a,b:P<0.05;A,B:P<0.01. Following the same.

食子儿茶素(GC)和表儿茶素(EC)显著增加,而表没食子儿茶素(EGC)和儿茶素(C)差异不显著。

茶黄素分析结果(表 4)表明,萎凋过程黄光处理显著提高了红茶中茶黄素的含量,增幅达到 17.6%,其中茶黄素(TF1)和茶黄素-3-没食子酸酯(TF2A)显著增加,但 TF3(茶黄素双没食子酸酯)和食子酸酯(TF2B)增加不明显。

氨基酸含量同样明显受到黄光处理的影响(表 5)。黄光处理显著提高了天冬氨酸、谷氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和茶氨酸含量,但酪氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、赖氨酸含量有所下降。此外,黄光处理茶样的可溶性糖含量比对照略高,但差异不显著。

### 2.3 黄光萎凋对红茶香气成分的影响

由表 6 可知,黄光处理对香气的影响较大。一方面,经过黄光处理后,一些主要香气成分如 2-甲基环戊醇、己醛、 $\alpha$ -甲基- $\alpha$ [4-甲基-3 戊烯]缩水甘油酯、2,2,6-三甲基-6-乙基四氢-2H-咪喃-3-醇、水杨酸甲酯、香叶醇、橙花醇、(E)-4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯基)-3-丁烯-2-酮、叶绿醇、 $\alpha$ -杜松醇、雪松

醇、顺式-3-己烯醇苯甲酸酯、橙化叔醇相对含量都有明显升高,而增加的主要是一些具有花(果)香的成分,尤其是含量最高的香叶醇,黄光照射后增加 69%。这些花香成分的增加极大地提高了红茶的香气。另一方面,经过黄光处理后,一些微量的具有青气或不良气味的成分相对含量下降,甚至消失。如 E,E,Z-1,3,12-十九碳三烯-5,14-二醇、2,2,6-三甲基-双环[4.1.0]庚-1-烷-甲醇、[1S-(1 $\alpha$ ,2 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )]-4,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚-3 烯-2 酮、[1S-(1 $\alpha$ ,2 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )]-4,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚-3-烯-2 酮、7,11-二甲基-2,6,10-三烯-1-醇、1,5,8-三甲基-二氢萘、顺-乙酸(13,14-环氧基)-11-十四烯酸、大马士酮、2-甲基-4-(2,2,6-三甲基-1-环己烯基)-2-丁烯醛、顺-8 $\alpha$ -甲基-六氢-1,8(2H,5H)萘二酮、4-(2,6,6-三甲基-环己-1-烯基)-2-丁醇、(3 $\alpha$ ,5Z,7E)-9,10-开环胆甾-5,7,10(19)-三烯-3b,25-二醇等成分在黄光处理后不能检测出。这些成分的减少有利于改善红茶的香气。图 1 为黄光处理和对照茶叶香气的 GC/MS 分析图谱。

表 4 茶黄素组分含量

Table 4 Content of theaflavins of black tea

处理 Treatment	TF1	TF2A	TF3	TF2B	总量 Total content
黄光 Yellow light	0.035±0.001a	0.099±0.002a	0.089±0.004a	0.024±0.001a	0.247±0.007a
对照 CK	0.030±0.002b	0.084±0.002b	0.071±0.012a	0.021±0.002a	0.210±0.016b

注 Note: TF1:茶黄素 Theaflavin; TF2A:茶黄素-3-没食子酸酯 Theaflavin-3-gallate; TF2B:食子酸酯 Theaflavin-3'-gallate; TF3:茶黄素双没食子酸酯 Theaflavin-3, 3'-digallate.

表 5 氨基酸组分含量  
Table 5 Amino acids composition of black tea

组分 Composition	黄光 Yellow light	对照 CK	组分 Composition	黄光 Yellow light	对照 CK
天冬氨酸 Aspartic acid	1.43Aa	1.29Bb	酪氨酸 Tyrosine	0.51Bb	0.63Aa
丝氨酸 Serine	0.92a	0.91a	苯丙氨酸 Phenylalanine	0.74	0.74
谷氨酸 Glutamic acid	2.04Aa	1.58Bb	$\gamma$ -氨基丁酸 $\gamma$ -Aminobutyric acid	0.15Bb	0.20Aa
甘氨酸 Glycine	0.02	0.02	鸟氨酸 Ornithine	0.01	0.01
丙氨酸 Alanine	0.28	0.30	赖氨酸 Lysine	0.46Ab	0.47Aa
胱氨酸 Cystine	0.16	0.16	脯氨酸 Proline	0.152	0.146
缬氨酸 Valine	0.54Aa	0.51Bb	组氨酸 Histidine	0.08	0.10
蛋氨酸 Methionine	0.02	0.02	色氨酸 Tryptophan	0.15	0.16
异亮氨酸 Isoleucine	0.38Aa	0.34Bb	精氨酸 Arginine	0.26	0.26
亮氨酸 Leucine	0.42Aa	0.41Ab	茶氨酸 Theanine	6.13Aa	5.63Bb
总量 Total content	16.22Aa	15.20Bb			

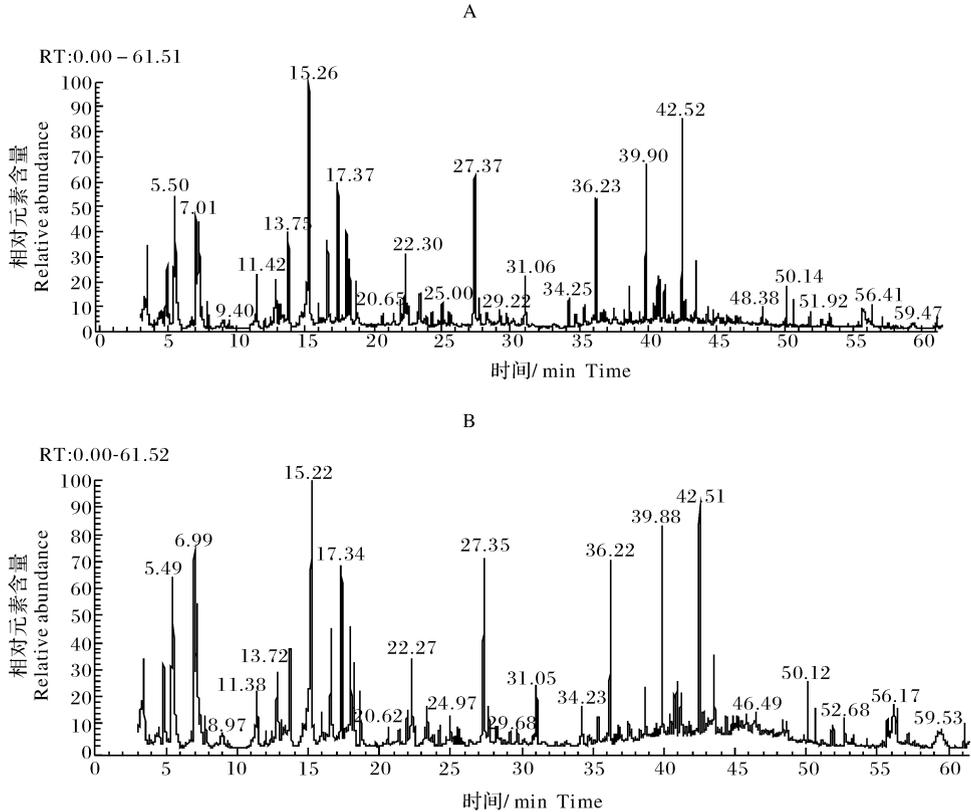
表 6 黄光处理对红茶香气成分的影响  
Table 6 Effect of yellow light treatment on aroma components of black tea

保留时间/min Time	香气成分 Aroma components	对照 CK	黄光 Yellow light
5.35	2-甲基环戊醇 2-Methylcyclopentanol	0.20	0.61
5.36	己醛 Hexanal	0.39	0.57
16.63	$\alpha$ -甲基- $\alpha$ [4-甲基-3-戊烯]缩水甘油酯 $\alpha$ -Methyl- $\alpha$ [4-methyl-3-pentenyl]-oxiranemethanol	1.73	2.14
21.97	2,2,6-三甲基-6-乙炔基四氢-2H-咪喃-3-醇 2H-Pyran-3-ol, 6-ethenyltetrahydro-2,2,6-trimethyl-	1.12	1.34
23.39	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	0.69	0.82
25.65	橙花醇 Nero	0.09	0.12
27.39	香叶醇 Geraniol	2.65	4.48
37.52	(E)-4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯基)-3-丁烯-2-酮 3-Buten-2-one, 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-, (E)-	0.09	0.13
42.52	橙化叔醇 3-Hydroxy-3,7,11-trimethyl-1,6,10-dodecatriene	0.96	1.32
42.69	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯 cis-3-Hexenyl benzoate	0.05	0.12
43.52	雪松醇 Cedrol	0.23	0.36
45.20	$\alpha$ -杜松醇 $\alpha$ -Cadinol	0.18	0.24
55.77	叶绿醇 Phytol	0.36	0.59

从香气类别(表 7)来看,本试验红茶主要的香气类别是醇类和醛酮类,其次是酯类、烷烯炔类和芳香族类,酰胺类和酸及酸酐类含量较少。经过黄光处理后,香气的总量增加 21.7%,其中酸及酸酐类增加 58.5%,醇类增加 41.2%,酯类增加 25.4%,芳香族增加 18.6%,而芳香族类和烷烯炔类变化较小,仅分别增加 2.1%和下降 1.6%。经过黄光处理后,酰胺类下降了 127.3%。

表 7 光质对茶叶中各类香气成分相对含量的影响  
Table 7 Effect of yellow light treatment on relative content of aroma components of black tea

香气类别 Aroma type	对照 CK	黄光 Yellow light
烷烯炔类 Alkanes and alkenes	1.29±0.05a	1.27±0.11a
醇类 Alcohols	8.20±0.26a	11.60±1.15b
酯类 Esters	2.84±0.01A	3.57±0.06B
酰胺类 Amides	0.55±0.01A	0.28±0.01B
醛酮类 Aldehydes and ketones	5.67±0.35a	5.80±0.20a
酸及酸酐类 Acid and anhydride	0.41±0.04a	0.65±0.08b
芳香族 Aromatic compounds	1.13±0.06a	1.34±0.05a
总量 Total content	20.10±0.59a	24.51±1.50b



A: 黄光处理 Yellow light treatment; B: 对照 CK.

图 1 红茶香气总离子流图

Fig. 1 Aroma's MS chart of ion current

### 3 讨论

黄光处理能提高红茶氨基酸的含量,可能与黄光能影响叶细胞中的多种酶有关。研究表明,蓝光能较快地诱导硝酸还原酶的形成,在水稻幼苗生长的初期能明显提高硝酸还原酶、亚硝酸还原酶、谷氨酸还原酶、谷氨酰胺合成酶的活性,促进植株的氮代谢<sup>[18]</sup>。黄光对茶叶的氮代谢可能也有类似的促进机制,但需要进一步研究。本试验黄光处理对红茶儿茶素总量的影响达极显著水平,这可能与其能增加氨基酸的含量有关。苯丙氨酸是儿茶素的合成原料,氨基酸含量的增加可能间接促进了儿茶素的合成。同样地,茶叶中的茶黄素是儿茶素的氧化产物,黄光处理促进了儿茶素的形成,从而有利于茶黄素类的合成,这与本试验黄光处理的结果相一致。此外,李雯林等<sup>[19]</sup>对 LED 光源处理下莴苣幼苗抗氧化酶活性进行研究,结果显示长波长的红光对叶用

莴苣品种“美国大速生”幼苗叶片中的过氧化物酶(POD)活性有显著的促进作用。茶叶中 POD 参与了茶黄素的合成,这可能是黄光促进茶黄素合成从而提高其含量的原因。香气分析结果表明,黄光处理后香气总量增加了 21.7%,醇类、酯类、醛类与酮类、含氧化合物等都较高,导致这一结果的原因是多方面的。Sanderson 等<sup>[20]</sup>发现儿茶素在多酚氧化酶催化下被氧化成氧化型儿茶素,这种氧化型儿茶素能促进茶叶中的  $\beta$ -胡萝卜素降解为  $\beta$ -紫罗酮,形成酮类香气化合物,因此,本试验中黄光处理儿茶素含量的增加促进了酮类香气化合物的形成。氨基酸能够发生脱羧和氧化脱氨反应产生相应的醛类,如甘氨酸形成甲醛,丙氨酸形成乙醛,缬氨酸生成异丁醛,亮氨酸生成异戊醛等<sup>[21]</sup>。故本试验黄光处理对氨基酸含量的提高对于醛类物质的形成是有利的,而这些醛类物质是茶叶香气的重要组成部分。此外,氨基酸和糖类、儿茶素在热的作用下还能产生味

喃、吡咯、吡嗪、苯酚物质以及相应的甲基、乙基、羟基、醛基、乙酰基衍生物和乙酸等<sup>[22-23]</sup>。本试验结果表明,黄光处理有利于氨基酸和儿茶素含量的增加,间接促进了香气物质的形成。

多酚类及其氧化产物茶黄素、氨基酸、可溶性糖等是影响红茶滋味的主要物质基础。红茶中保留的多酚类是构成滋味浓厚、强烈的主要物质,茶黄素是茶汤刺激性强烈与鲜爽的重要成分,而氨基酸、儿茶素、茶黄素等与咖啡碱形成的络合物也影响滋味的鲜爽度<sup>[24-25]</sup>。因此,优质红茶不仅要求有含量较高的多酚、儿茶素、茶黄素以及氨基酸,而且几种物质的比例协调。试验结果表明,儿茶素(尤其是 EGCG 和 ECG)含量的增加增强了红茶滋味的浓烈程度和收敛性;茶黄素则能显著提高红茶滋味的刺激性和鲜爽度;氨基酸含量的增加让红茶滋味变得更鲜爽;适量增加的可溶性糖提高了茶叶的甜度。香气分析结果显示,一些具有花(果)香的成分显著增加,尤其是香叶醇极为明显,黄光照射后增加了 69%。这些花香成分的增加明显改善红茶的香气。另一方面,经过黄光处理后,一些微量的具有青气或不良气味的成分相对含量下降,甚至消失。综上所述,萎凋过程的黄光照射显著提高了红茶的汤色、香气和滋味品质。

### 参 考 文 献

- [1] CHRISTIE J M, REVMOND P, POWELL G K, et al. *Arabidopsis* NPH1: a flavoprotein with the properties of a photoreceptor for phototropism[J]. *Science*, 1998, 282: 1698-1701.
- [2] LIN C T, YANG H Y, GUO H W. Enhancement of blue-light sensitivity of *Arabidopsis* seedlings by a blue light receptor cryptochrome 2[J]. *Proc Natl Acad Sci*, 1998, 95: 2686-2690.
- [3] WEIMANN E. UV irradiation in photomorphogenesis[M]// MOHR H, SHROPSHIRE W. *Encyclopedia of plant physiology*, NS 16B. Berlin: Springer-Verlag, 1983: 745-756.
- [4] TALBOTT L D, ZEIGER E. Sugar and organic acid accumulation in guard cells of *Vicia faba* in response to red and blue light[J]. *Plant Physiology*, 1993, 102: 1163-1169.
- [5] 王丽娟. 光质对草莓光合特性及果实品质的影响[D]. 保定: 河北农业大学图书馆, 2008.
- [6] 蒲高斌, 刘世琦, 张珍, 等. 光质对番茄幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. *中国蔬菜*, 2005(9): 21-23.
- [7] 仇方方, 余志, 艾仄宜, 等. 萎凋温度、湿度及风速对红茶品质的影响[J]. *中国茶叶*, 2014(11): 22-25.
- [8] 施兆鹏, 胡建成, 刘勤晋, 等. 茶叶加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 63-89.
- [9] OWUOR P, OBANDA M. The impact of withering temperature on black tea quality[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1996, 70(3): 288-292.
- [10] 王伟伟. 萎凋发酵条件对茶黄素形成关键因子的影响[D]. 北京: 中国农业科学院图书馆, 2013.
- [11] 丁勇, 徐奕鼎, 王焯军, 等. 祁门红茶初制中萎凋与初烘工艺研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(9): 110-114.
- [12] 滑金杰. 工夫红茶萎凋工序中鲜叶呼吸作用及理化特性的基础研究[D]. 北京: 中国农业科学院图书馆, 2014.
- [13] 张贝贝. 不同光质萎凋对红茶品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2013.
- [14] 倪德江, 余志, 张贝贝, 等. 一种实验型红茶萎凋槽: 201320153639. 4[P]. 2013-09-11.
- [15] 钟萝. 茶叶品质理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法: GB/T 8313—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 食品中氨基酸的测定方法: GB/T 5009. 124—2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [18] 李韶山, 潘瑞焱. 蓝光对水稻幼苗碳水化合物和蛋白质代谢的调节[J]. *植物生理学报*, 1995(1): 22-28.
- [19] 李雯琳, 郁继华, 张国斌, 等. LED光源不同光质对叶用莴苣幼苗叶片气体参数和叶绿素荧光参数的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(1): 47-51.
- [20] SANDERSON G W, CO H, GONZALEZ J G. Biochemistry of tea fermentation: the role of carotenoids in black tea aroma formation[J]. *Journal of Food Science*, 1971, 36(2): 231-236.
- [21] 郭雯飞. 茶叶香气生成机理的研究[J]. *中国茶叶加工*, 1996(4): 34-37.
- [22] 冯呈艳, 余志, 陈玉琼, 等. 茶鲜叶介电特性的初步研究[J]. *华中农业大学学报*, 2014, 33(2): 111-115.
- [23] ROBINSON J M, OWUOR P O. Tea aroma[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1992: 603-647.
- [24] ROBERTS E A H, SMITH R F. The phenolic substances of manufactured tea IX. The spectrophotometric evaluation of tea liquors[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1963, 14(10): 689-700.
- [25] SCHARBERT S, JEZUSSEK M, HOFMANN T. Evaluation of the taste contribution of theaflavins in black tea infusions using the taste activity concept [J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 218(5): 442-447.

## Effects of yellow light irradiation during withering of tea leaves on the qualities of black tea

ZHANG Beibei AI Zeyi QU Fengfeng YU Zhi CHEN Yuqiong NI Dejiang

*College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University/  
Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Yellow light was used to irradiate plucked leaves during its withering. The withered leaves were subjected to cutting and drying. The qualities of black tea were analyzed. The results showed that yellow light significantly improved the aroma and taste. The sweet flavor and fresh and mellow taste of black tea was less affected. The concentrates of catechins, theaflavins, amino acids and aroma components except polyphenols and soluble sugars were significantly increased as well. After irradiation of yellow light, the total content of catechins in black tea increased by 21.6%, among which EGCG, ECG, GC and EC were increased remarkably with no significant difference in EGC and C. The total content of theaflavins in black tea withered with yellow light had an increase of 17.6%. But each theaflavin showed different variation with a significant increment in TF1 and TF2A, but there was no significant difference in TF3 and TF2B. It is indicated that the amino acids of black tea withered with yellow light increased by 6.8% with a significant increment in aspartic acid, glutamic acid, valine, isoleucine and theanine. The result of GC/MS analysis showed that there was 21.7% increase of total content of aroma components. The predominant types of acids and anhydrides, alcohols, esters and aromatic compounds increased by 58.5%, 41.2%, 25.4% and 18.6%, respectively. Amides decreased by 127.3%. It is indicated that yellow light irradiation during tea leaves withering can improve the qualities of black tea.

**Keywords** black tea; withering; withering treatment with yellow light; catechin; theaflavins; aroma components; sensory quality

(责任编辑:陆文昌)