第 29 卷第 5 期 生 态 学 报 Vol. 29, No. 5
2009 年 5 月 ACTA ECOLOGICA SINICA May, 2009

光质对‘红富士’苹果果实着色的影响

宋 哲[1,2],李天忠[2,*],徐贵轩[1],谷大军[1],何明莉[1],张春波[1]
(1. 辽宁省果树科学研究所,辽宁熊岳 115009;2. 中国农业大学园艺植物研究所,北京 100094)

摘要:为探明‘红富士’苹果着色机理,试验以‘红富士’苹果为试材,应用不同光质的光源对进入着色期的套袋果实进行室内离体补光和田间树冠内膛补光照射处理,对果皮花青苷、果实糖分及相关酶的活性等生理指标进行测定。试验结果表明,红光(R)照射离体套袋‘红富士’苹果果实不着色,紫外光 UVA(>320 nm)灼伤果实果皮而变褐色;UVB(280 ~ 320 nm)及其组合光源刺激果实 PAL 酶活性增加,促进糖含量增长,并使果实花青苷大量积累,促进‘红富士’苹果着红色。白光对‘红富士’苹果果实 PAL 酶活性、花青苷及糖分含量的增加也有一定促进作用,但不如 UVB 及其组合光源照射效果好。因此,UVB 光源是‘红富士’苹果着色的直接外在因子,是直接刺激‘红富士’苹果着色的光信号之一。

关键词:苹果;‘红富士’;套袋果实;不同光质照射;生理指标
文章编号:1000-0933(2009)05-2304-08 **中图分类号**:Q142,Q945,S661.1,S605$^+$.9 **文献标识码**:A

Effect of different light spectra on the surface coloration of ‘Red Fuji’ apple

SONG Zhe[1,2], LI Tian-Zhong[2], XU Gui-Xuan[1], GU Da-Jun[1], HE Ming-Li[1], ZHANG Chun-Bo[1]
1 *Liaoning Institute of Pomology, Xiongyue, Liaoning* 115009, *China*
2 *Institute for Horticultural Plants, China Agricultural University, Beijing* 100094, *China*
***Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2304 ~ 2311.**

Abstract: Lights of different spectra were applied to bagged ‘Red Fuji’ apple fruits either attached or detached to trees in order to study the effects on the surface coloration. Anthocyanin and sugar contents and relevant enzyme activities were then analysed to study the effects of different lights on fruit coloration. Bagged fruits detatched from trees developed no red color under irradiation of both Red light and UVA (>320nm) and fruits were injured and turned brown under irradiation of UVA. UVB light (280 —320nm) or any light combinations involving UVB significantly induced red coloration of fruit. White light had similar function of inducing fruit coloration but the effectiveness was not as significant compared with UVB light and its combinations. The activity of PAL enzyme and sugar content increased, which stimulated the accumulation of anthocyanin when the fruits are exposed to UVB light and white light. Therefore, UVB light is the direct external factor for the coloration of ‘Red Fuji’ apple and one of the light signals for stimulating fruit coloration.

Key Words: apple; ‘Red Fuji’; bagged fruit; different light irradiation; physiological index

‘红富士’是我国苹果主栽品种,果实着色差一直是限制其出口的主要质量因子。有关苹果着色机理近年来有不少报道, Saure[1] 和 Lancaster[2] 分别就环境因素调控和基因调节作了综述,原永兵[3] 等就内在调节机制作了综述,张光伦[4] 在生态因子对果实品质影响中综述了苹果色泽的生态效应,李兴国[5] 就花青苷的研究进展作了综述。但红富士苹果生育期间果实着色的直接外在因子以及果实生理变化指标等研究都不够明确,因此,以‘红富士’苹果为试材,对刚刚进入着色期的套袋‘红富士’苹果进行人工不同光质照射试验,对其相关指标进行检测,旨在探讨不同光质对‘红富士’苹果果实着色的影响。为改善‘红富士’苹果果实外观品

基金项目:辽宁省科技攻关资助项目(2001204001)
收稿日期:2008-07-24; **修订日期**:2009-03-01
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: litianzhong1535@163.com

质,指导果树生产提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

田间试验在辽宁省果树科学研究所苹果优质栽培试验园进行,该果园为平地,供试品种为'福岛短枝红富士',砧木为'山定子',授粉品种为'首红',树龄 10 年生,株行距 3 m×4 m,树形为纺锤形,树势健壮,栽培管理水平较高。试验果实(盛花后 20~130d)进行套袋遮光处理(大连'久松'牌双层纸袋)。

1.2　试验处理

1.2.1　不同光质室内照射试验

试验处理:9 月 20 日(盛花后 130d)随袋采摘套袋果擦净,于试验室组织培养架上进行不同光质照射试验,温度控制在 18℃,室内有鼓风机通风。照射时间每天 7:00~20:00。共设 9 个处理:CK(白天室内太阳散射光作对照)、紫外光 UVA(UVA)、红光(R)、白光(W)、W+R、紫外光 UVB(UVB)、UVB + R、UVB + W、UVB + W+R;每个处理 18 个样品果,每 3 个果实为一组;共照射 25 d。白光和红光光源为深圳市来田实业有限公司生产的 Philips 牌 40W 的普通照明灯,波长分别为 350~600 nm 和 640~660 nm;UVB 光源为天津紫制品有限公司生产的 40W 紫外灯,波长 280~320 nm;UVA 光源为广东佛山电器照明有限公司生产 40W 的灭菌灯,波长 365 nm;CK 为室内散射光。不同层间用 0.5 cm 厚纸壳隔离。

通过调节光源与果实间的距离,控制光源到达果实表面的光强,光源与果实间的距离在 55~65 cm 之间,光源到达果实表面的光强控制在 500lx 左右(光强测定采用宁夏回族自治区银川电表厂生产的 GZ-1 型棍式照度计),所有处理间到达果实表面的光强保持基本一致。

1.2.2　套袋'红富士'苹果果实去袋后田间补光照射试验

田间试验处理:田间采用天津紫制品有限公司生产的 40W UVB(280~320 nm)紫外灯,于 9 月 20 日开始对大树内膛摘袋果实进行补光照射试验处理,被照果实距光源 60cm,果实表面的光强控制在 500lx 左右。从果实摘袋时起每天 7:00~20:00 进行补光照射。内膛套袋果实摘袋后自然光照射为对照。

1.2.3　取样与测定指标

每 5 d 取一次样,每次取 3 个果实,分别测定可溶性糖、蔗糖、果糖、葡萄糖、淀粉、花青苷、PAL 酶活性等动态变化,单个果实进行测定,重复 3 次。

1.3　试验设计

1.3.1　室内不同光质照射试验设计方法

采用裂区试验设计,设 A、B 二因素三水平,其中 A 因素为光质,分别为 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9(CK、UVA、R、W、W+R、UVB、UVB + R、UVB + W、UVB + W+R),为主处理;B 因素为照射天数,分别为 B1、B2、B3、B4、B5、B6(0、5、10、15、20、25d),为副处理。

1.3.2　室内 UVB + W+R 光质照射试验设计方法

采用单因素三水平完全随机设计, 即 UVB + W+R 光质照射,室内散射光为 CK,设照射天数 B1、B2、B3、B4、B5、B6(0、5、10、15、20、25d)6 个处理。

田间补 UVB 光质照射试验设计方法同 1.3.2。

1.4　样品分析

1.4.1　花青苷含量测定

仝月澳《果树营养诊断法》中叙述的"花青苷测定"方法[6],用直径为 1.2 cm 的打孔器在果实相对 4 面各取一果皮圆片,剪碎后,用 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ HCl 提取并过滤,采用分光光度法测定果皮花青苷,其中花青苷含量单位:把 100 cm^2 果皮在分光光度计上的总吸收度(即总光密度)定义为一个单位,用 U/100 cm^2 表示。

1.4.2　可溶性糖含量的测定

取皮下有代表性的果肉 10g 作材料,参照《中国食品工业标准汇编》"水果、蔬菜可溶性样测定法"[7]。

1.4.3 葡萄糖、果糖、蔗糖、淀粉的测定

取皮下有代表性的果肉 10g 作材料,采用蒽酮分光光度比色法[8]。

1.4.4 PAL(苯丙氨酸解氨酶)测定方法

参照王敬文[9]方法。PAL 活性的测定用分光光度法。取果皮及皮下 2 mm 果肉 1 g 作材料。以每小时在 290 nm 处 OD 值变化 0.1 作为一个酶活性单位(相当每毫升反应混合物形成 1 μg 肉桂酸),用 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$ 表示。各测定项目重复 3 次。

1.4.5 试验数据统计分析

应用《实用统计分析及其 DPS 数据处理系统》软件[10]中,裂区试验设计和单因素完全随机设计统计分析,及平均数比较 Student"*t*" 试验检验统计分析方法。

2 结果与分析

2.1 室内不同光质照射对'红富士'苹果果肉可溶性糖、PAL 酶活性及果皮花青苷含量的影响

从表 1 看出:区组间没有显著差异,而 A 因素间(CK、UVA、R、W、W + R、UVB、UVB + R、UVB + W、UVB + W + R)、B 因素间(照射天数 0、5、10、15、20、25d)、A × B 互作间皆存在极显著差异($P < 0.01$),因此,对主处理 A 因素各个水平、裂区 B 处理和 A × B 互作各个水平间进行 SSR 检验和 Duncan 多重比较。

表 1 3 个项目的方差分析概要

Table 1 Summary of analysis of variance for 3 projects

变异来源 Source of variation	自由度 D*F*	*F* 值(*F* Value)			显著水平(*P*) Level reapectively
		可溶性糖 Sugars	PAL 酶 PAL	花青苷 Anthocynin	
区组	2				
因素 A	8	68.811	67.365	943209.941	0
误 差	16				
因素 B	5	162.112	5837.444	1256450.836	0
A × B	40	9.204	40.238	106891.455	0
误差	90				

$P < 0.01$ 表示 1% 极显著水平 Indicates significant difference at 0.01 level

从表 2 对主处理间与副处理间 SSR 检验和 Duncan 多重比较可以看出:主处理 A9、A8、A7、A6 与 A5、A4、A3、A2、A1 处理的苹果果肉可溶性糖含量、PAL 酶活性及果皮花青苷含量存在极显著差异,说明 UVB 及其组合光源照射效果明显;而 A9 (UVB + W + R)处理与其它 8 个处理的苹果果肉可溶性糖含量、PAL 酶活性及果皮花青苷含量差异基本上也极为显著。从表 2 还可看出副处理 B6(照射 25d)与 B5、B4、B3、B2、B1(照射 20、15、10、5、0d)处理之间存在极显著差异。

从表 3 的 A × B 互作各个水平间进行的 SSR 检验和 Duncan 多重比较结果可以看出(由于互作结果篇幅过大故只列出最大值与最小值):A9(UVB + W + R) × B6(照射 25d)互作其苹果果肉可溶性糖含量、PAL 酶活性及果皮花青苷含量平均值最大,分别达到 12.42%、2.52 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$、28.48 U/100$cm^2$,比最小值 A2 (UVA) × B1(照射 0d)高 3.22%、2.17 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$、22.33 U/100$cm^2$。

从表 4 可以看出:UVB + W + R 光质照射 25d,可溶性糖含量比对照高 2.54%,比白光(W) 高 1.92%;PAL 酶活性比对照高 0.72 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$,比白光(W)高 0.54 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$;果皮花青苷含量比对照高 19.52U/100$cm^2$,比白光(W) 高 18.53U/100$cm^2$。

从表 4 经单因素完全随机设计的 Duncan 多重方差统计分析比较还可以看出:'红富士'苹果经前 5 种光质照射处理 25d 后,果实可溶性糖含量变化不大,在 9.66% ~10.68% 之间,经后 4 种光源照射后果实可溶性糖含量明显增大,在 10.83% ~12.42% 之间;经前 5 种光质照射处理 25d 后,果实 PAL 酶活性变化不大,在 1.80 ~1.99 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$ 之间,经后 4 种光源照射后,果实 PAL 酶活性明显增大,在 2.42 ~2.52$U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$ 之间;经前 5 种光质照射处理 25d 后,果实花青苷含量变化不大,在 8.55 ~11.94U/100cm^2 之间。经后 4 种光源照射后花青苷含量明显增大,在 20.56 ~28.48U/100cm^2 之间。这一规律说明:UVB 光源对'红富士'苹

果着色起主要作用,白光(W)及与红光组合光源起次要作用。

表 2　不同光质照射对'红富士'苹果果肉可溶性糖、PAL 酶活性及果皮花青苷含量变化的影响

Table 2　The changes of sugars contents, PAL enzyme activity, anthocynin contents of 'Red Fuji' apple as affected by different types of irradiation

处理 Treatment	平均值 Average		
	可溶性糖 Sugars(%)	PAL 酶 PAL($U\cdot g^{-1}FW\cdot h^{-1}$)	花青苷 Anthocynin($U/100cm^2$)
A9	10.85aA	1.38aA	18.18aA
A8	10.78aA	1.36aAB	17.60bB
A7	10.19bB	1.31bBC	15.71cC
A6	10.05bB	1.28bC	15.53dD
A5	9.90bcC	1.13cD	8.589eE
A4	9.87cC	1.13cD	8.42fF
A3	9.50dD	1.08dDE	7.84gG
A1	9.48dD	1.05dE	7.63hH
A2	9.40dD	1.03dE	7.41iI
B6	10.82aA	2.14aA	16.24aA
B5	10.48bB	1.66bB	15.74bB
B4	10.15cC	1.27cC	13.66cC
B3	9.81dD	0.99dD	11.10dD
B2	9.65eD	0.73eE	8.38eE
B1	9.22fE	0.36fF	6.15fF

Duncan 法差异显著性检验,字母相同表示差异不显著,大写字母表示 1% 显著,小写字母表示 5% 显著　The same letters mean the differences between treatments were not significant according to Duncan's new multiple range test, capital letters represent 1% significant level, small letters represent 5% significant level

表 3　A×B 互作对'红富士'苹果果肉可溶性糖、PAL 酶活性及果皮花青苷含量变化的影响

Table 3　The changes of total sugar contents、PAL enzyme activity、anthocynin contents of 'Red Fuji' apple as affected by A×B interaction

处理 Treatment	均值 Average		
	可溶性糖 Sugars(%)	PAL 酶 PAL ($U\cdot g^{-1}FW\cdot h^{-1}$)	花青苷 AnthocyninU/100cm^2
A9×B6(最大值 Max.)	12.42aA	2.52aA	28.48aA
A2×B1(最小值 Min.)	9.20pS	0.35nL	6.15zZ

Duncan 法差异显著性检验,字母相同表示差异不显著,大写字母表示 1% 显著,小写字母表示 5% 显著　The same letters mean the differences between treatments were not significant according to Duncan's new multiple range test, capital letters represent 1% significant level, small letters represent 5%; significant level

表 4　不同光质照射 25d'红富士'苹果果肉可溶性糖、PAL 酶活性及果皮花青苷含量变化的影响

Table 4　The changes of sugars contents, PAL enzyme activity, anthocynin contents of 'Red Fuji' apple as affected by different types of irradiation for 25 days

处理 Treatment	25d 均值 Average for 25 days		
	可溶性糖 Sugars(%)	PAL 酶 PAL ($U\cdot g^{-1}FW\cdot h^{-1}$)	花青苷 Anthocynin U/100cm^2
A1	9.88 dD	1.80cB	8.96 gG
A2	9.66 Dd	1.82cB	8.55 I
A3	9.87 Dd	1.80cB	8.66 hH
A4	10.50 cC	1.98bB	9.95 fF
A5	10.68 cBC	1.99 bB	11.94 eE
A6	10.83 bcBC	2.42 aA	20.56 dD
A7	11.12 bB	2.44 aA	23.46 cC
A8	12.36 aA	2.52 aA	25.64 bB
A9	12.42 aA	2.52a A	28.48 aA

Duncan 法差异显著性检验,字母相同表示差异不显著,大写字母表示 1% 显著,小写字母表示 5% 显著　The same letters mean the differences between treatments were not significant aaccording to Duncan's new multiple range test, capital letters represent 1% significant level, small letters represent 5% significant level

图1 不同光质照射着色效果

Fig. 1 Coloring features under different light spectra

A:UVB + W + R 照射 4d 着色状 Coloring feature after 4 days under radiation of UVB + W + R;B:W 照射 4d 着色状 Coloring feature after 4 days under radiation of W;C: UVB + W + R 照射 4 天着色状 Coloring feature after 4 days under radiation of UVB + W + R;D:CK 散射光照射 4d 着色状 Coloring feature after 4 days under radiation of CK;E: UVB 田间照射试验处理 Treatment from field under radiation of UVB;F: UVA 照射 4 天着色状 Coloring feature after 4 days under radiation of UVA

外观观察结果(图 1)也充分证明了这一点:UVB 与白色光源照射的果实 2 天就开始着色(A、B 为照射 4d 着色状,D 为室内散色光照射),且 UVB 及其组合光源照射着色明显,白光照射略有红晕。25d 以后有 UVB 及其组合光源照射的果实着鲜红色(图 1C),白光照射的果实红色较淡。从外观结果看经 UVB 及其组合光源照射处理的‘红富士’苹果果实着色明显,白光(W)照射果实虽有着色但很淡,UVA 光源照射果实被灼伤呈褐色(图 1D),红色光源照射及对照(室内散色光)照射果实不着色。与上述测定结果相一致。

由于此前预备试验发现(从外观观察)及上述试验 2.1 结果看:UVB + W + R 光质照射‘红富士’苹果果实着色效果最佳,故此对 UVB + W + R 光质照射的‘红富士’苹果果实的蔗糖、果糖、葡萄糖、淀粉含量进行进一步测定并进行单因素完全随机设计的 Duncan 多重方差统计分析,结果见表 5(表中数据为 3 次测定结果的平均值)。

室内 UVB + W + R 光质照射随着照射时间的增长其糖分含量逐渐增加,经 Student“t”检验,室内 UVB +

W + R 光质照射 15d 后的'红富士'苹果果实蔗糖、果糖、葡萄糖含量与同一时间处理的对照相比 $P < 0.01$,差异极显著(表 5),且随着照射时间的增长蔗糖含量比对照高 0.54% ~0.63%,果糖含量比对照高 0.10% ~0.31%,葡萄糖含量比对照高 0.01% ~0.17%。而淀粉含量与同一时间处理的对照相比差异显著($P < 0.05$)且比对照 低0.04% ~0.07%,呈下降的趋势,说明在这期间淀粉转化为可溶性糖。

表 5　室内 UVB + W + R 光质照射对'红富士'苹果果肉糖分含量变化

Table 5　Changes of sugur contents in Fuji apples under UVB + W + R irradiation indoors

照射时间 Irradiation time(d)	蔗糖 Sucrose(%)		果糖 Fructose(%)		葡萄糖 Glucose(%)		淀粉 Starch(%)	
	UVB + W + R	CK	UVB + W + R	CK	UVB + W + R	CK	UVB + W + R	CK
0	1.98fF	1.98fF	5.03fF	5.03fF	1.97 fE	1.97 dD	2.40 aA	2.40 aA
5	2.55eE	2.01eE	5.31eE	5.10 eE	2.01 eE	2.00d D	2.33 aAB	2.34b B
10	2.77dD	2.10dD	5.42dD	5.11 dD	2.31 dD	2.05 cC	2.25 bBC	2.30 cB
15	3.03cC	2.20cC	5.50cC	5.20cC	2.73 cC	2.12bB	2.17 cCD	2.21 dC
20	3.08bB	2.41bB	5.73bB	5.62bB	3.03 bB	2.32 aA	2.10 cDE	2.14 eD
25	3.11aA	2.48aA	5.81aA	5.71 aA	3.50 aA	2.33 aA	2.00 dE	2.07fE

Duncan 法差异显著性检验,字母相同表示差异不显著,大写字母表示 1% 显著,小写字母表示 5% 显著　The same letters mean the differences between treatments were not significant aaccording to Duncan's new multiple range test, capital letters represent 1% significant level; small letters represent 5% significant level

2.2　田间补 UVB 光照射对'红富士'苹果果实着色的影响

2.2.1　田间补 UVB 光照射对'红富士'苹果果肉糖分含量变化的影响

田间补 UVB 处理的'红富士'苹果果实随着照射时间的增长其糖分含量逐渐增加(表 6)。在照射 10 d 后果实可溶性糖及各种糖分含量与同一时间处理的对照相比经 Student"*t*"检验 $P < 0.01$,均呈现极显著差异,唯独淀粉呈递减趋势,上述结果与室内处理结果基本相吻合。这些糖类的形成可能为花青苷的合成提供充足的底物,从而促进花青苷的合成,进而促进果实着红色(图 1E)。

表 6　田间 UVB 补光照射对'红富士'苹果果肉糖分含量变化

Table 6　Changes of sugur contents in 'Red Fuji' apples under UVB irradiation in the field (%)

照射时间 Irradiation time(d)	可溶性糖 Sugars		蔗糖 Sucrose		果糖 Fructose		葡萄糖 Glucose		淀粉 Starch	
	UVB	CK	UVB	CK	UVB	CK	UVB	CK	UVB	CK
0	9.0fF	9.0fF	1.98fF	1.98fF	5.03fF	5.03fF	1.97fF	1.97fF	3.20aA	3.21aA
5	9.59eE	9.50eE	2.11eE	2.10eE	5.23eE	5.12eE	2.13eE	2.11eE	3.12bB	3.20bB
10	10.44dD	10.04dD	2.31dD	2.21dD	5.38dD	5.24dD	2.33dD	2.14dD	2.67cC	2.85cC
15	11.52cC	10.42cC	2.82cC	2.33cC	5.48cC	5.34cC	2.82cC	2.35cC	2.11dD	2.34dD
20	12.36bB	10.88bB	3.06bB	2.35bB	6.11bB	5.44bB	3.11bB	2.46bB	1.52eE	1.96eE
25	14.88aA	11.12aA	3.53aA	2.54aA	7.41aA	5.52aA	3.41aA	2.66aA	1.01fF	1.34fF

Duncan 法差异显著性检验,字母相同表示差异不显著,大写字母表示 1% 显著,小写字母表示 5% 显著　The same letters mean the differences between treatments were not significant aaccording to Duncan's new multiple range test, capital letters represent 1% significant level, small letters represent 5% significant level

2.2.2　田间 UVB 补光照射对'红富士'苹果果肉 PAL 酶活性变化的影响

'红富士'苹果田间补 UVB 光照射果实 PAL 酶活性与对照一样都随着照射时间的增长呈上升趋势,从 0.35 ~3.78 $U·g^{-1}FW·h^{-1}$,比对照要高(0.35 ~1.80 $U·g^{-1}FW·h^{-1}$)(图 2),并经 Student"*t*"检验田间补 UVB 光照射 5d 以后直至 25d 结束与同一时间对照相比果实 PAL 酶活性变化 $P < 0.01$,差异极显著(图 2),说明田间补 UVB 光照射能够提高果实 PAL 酶的活性,这一点与室内人工照射试验的趋势基本吻合。

2.2.3　田间补 UVB 光照射对'红富士'苹果果皮花青苷含量变化的影响

'红富士'苹果田间补 UVB 光照射果实花青苷含量的变化,与对照一样,都随着照射时间的增长而增加,从 10.75 ~98.70 U/100cm^2,比对照要高(10.75 ~59.24 U/100cm^2)(图 3);并经 Student"*t*"检验田间补 UVB

光照射 5d 至 25d 结束与同一时间对照相比花青苷含量变化差异极显著($P<0.01$)(图 3)。这一点进一步验证了室内人工照射试验的结果。

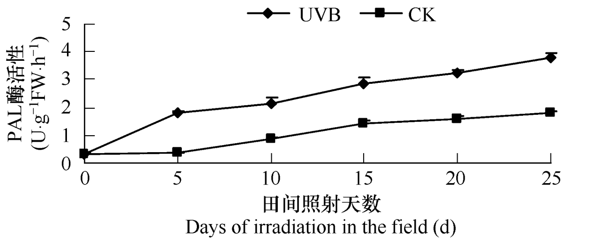

图 2 ‘红富士’苹果田间补 UVB 光照射对果肉 PAL 酶活性的影响

Fig. 2 Effects of UVB irradiation on the activities of PAL enzyme in ‘Red Fuji’ apples

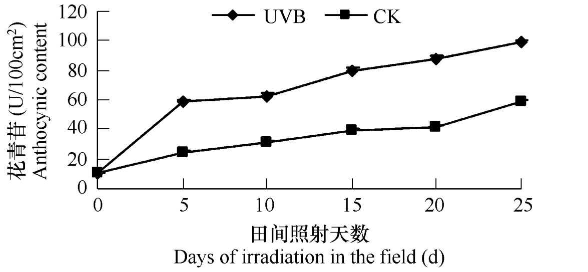

图 3 ‘红富士’苹果田间补 UVB 光照射对果皮花青苷含量的影响

Fig. 3 Effects of UVB irradiation on the contents of anthocynin in ‘Red Fuji’ apples

3 讨论

‘红富士’苹果不同光质照射 1 ~ 25d 室内试验,果实虽少量失水,但通过对不同处理间果实单果重的测量,测得不同处理间果实与对照相比失水率差异不显著,故果实失重结果略。

果实的颜色主要取决于果实表皮及近果皮的果肉细胞中的叶绿素、类胡萝卜素、类黄酮以及花青素的含量 。这几种色素在果实不同发育阶段含量不同,红色品种从生长期过渡到成熟阶段果实的底色由绿变黄,同时在底色的基础上着生红色或紫红色。底色的变化是由叶绿素的分解和类胡萝卜素含量的增加决定的,而红色的产生是由于花青苷的合成[11]。现已查明花青苷是由花青素和糖组成的,而花青素是花色素(anthocyanidin)的一种,是植物体内很重要的一大类次生物质,属于类黄酮(flavonoid)的一种。花色素是花和果实的主要色素。自然界广泛分布的花色素以花葵素(pelargonidin)、花青素(cyanidin)和花翠素(delphinidin)为主。花青素易溶于水,存在于果皮或果肉的细胞液或细胞质中,而红色苹果果皮中合成的花青苷存在于液泡中。

在花青苷的生物合成过程中,PAL 酶是催化合成反应的第一个酶。长期以来,一直认为 PAL 酶是苹果中花青苷合成的关键酶。据[12]报道,随果实中花青素含量增加,PAL 活性也增加。

由此,以糖含量和 PAL 酶活性及花青苷含量的变化等作为红富士苹果着色的生理指标开展该项试验研究。不同光质照射对‘红富士’苹果果实着色的影响试验测定结果显示:红光(R)、紫外光(灭菌灯 UVA > 320nm)直接照射离体的套袋‘红富士’苹果果实不着色(对照室内散色光照射离体的套袋‘红富士’苹果果实不着色),并且 PAL 酶、糖分含量、花青苷等生理指标与对照相比差异不显著,但经紫外光 UVA(灭菌灯 UVA >320nm)照射的果实果皮被灼伤而变褐色(图 1F)。UVB 及其组合光源与白光(W)照射的‘红富士’苹果果实,PAL 酶、糖分含量、花青苷等生理指标与对照相比差异显著($P<0.05$),并且经 UVB + W + R 光源照射 25d 后的‘红富士’苹果,不但刺激果实 PAL 酶活性的增加,比对照高 0.72 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$,比白光(W)高 0.54 $U \cdot g^{-1} FW \cdot h^{-1}$;还促进了其糖分含量的增长(这一点黎峥[13]在藻类生物上曾有报道)可溶性糖含量比对照高 2.54%,比白光(W) 高 1.92%,蔗糖含量比对照高 0.54% ~0.63%,果糖含量比对照高 0.10% ~0.31%,葡萄糖含量比对照高 0.01% ~0.17%。葡萄糖、果糖的升高为‘红富士’苹果果实花青苷的形成提供前体物质,蔗糖可能在此期间为转化成单糖作储备。同时使果实花青苷含量大量累积,比对照高 19.52U/($100cm^2$),比白光(W) 高 18.53U/$100cm^2$,促进‘红富士’苹果着红色。白光也可促进‘红富士’苹果果实 PAL 酶活性以及糖分、花青苷含量增加,对‘红富士’苹果着红色也有一定促进作用,但远不如 UVB 及其组合光源照射效果好(图 1A、B、C)。田间补 UVB 光照射试验结果与室内结果基本吻合。由此可见,UVB 光源是‘红富士’苹果着色的直接外在因子。

河北农业大学园艺系孙建设等"富士苹果果皮色泽形成的需光特性研究"结果显示[14]:640 nm 红光处理和 430 nm 紫外光处理的果实花青苷含量均被明显抑制,果皮几乎没有红色形成,花青苷生物代谢最终产物的生成需要白色光照射,整个生长期单一红光或紫光处理抑制花青苷的形成(光质试验:田间采用特制纸滤光和在晚间利用人造光源补充紫外光及特异波长光。(1)补光处理:40 W 灯,主波长 640、430、280 nm,被测果实取样范围为距光源 1.0 ~ 1.5 m 受光区内。(2)采用纸或膜过滤自然光,使透过光的主波长为 640、430 nm。(3)用半透明纸袋调节自然光透过率。控制处理天数和光质交替处理方式。)。

孙建设的研究结果与本研究的红光(R)、紫外光 UVA(灭菌灯 UVA > 320nm)直接照射离体的套袋'红富士'苹果果实不着色,经紫外光 UVA(灭菌灯 UVA > 320nm)照射的果实果皮被灼伤而变褐色(图 1F),白光对'红富士'苹果着红色也有一定促进作用相吻合,但他没有做 UVB (280 ~ 320 nm)光质照射对红富士苹果果实着色的影响的处理,故也就未见 UVB (280 ~ 320 nm)光质照射对红富士苹果果实着色的影响的明确报道。

4　结论

红富士苹果不同光质照射对果实着色的影响试验结果表明:红光(R)直接照射离体的套袋'红富士'苹果果实不着色,紫外光(灭菌灯 UVA > 320nm)照射的果实果皮被灼伤而变褐色;UVB(280 ~ 320nm)及其组合光源照射'红富士'苹果,不但刺激果实 PAL 酶活性的增加,还促进其糖分含量的增长,使果实花青苷大量积累,促进'红富士'苹果着红色。白光对'红富士'苹果果实 PAL 酶活性、花青及糖苷分含量的增加也有一定促进作用,也能促进'红富士'苹果着红色,但远不如 UVB 及其组合光源照射效果好。因此,UVB 光源是'红富士'苹果着色的直接外在因子,是直接刺激'红富士'苹果着色的光信号之一。

eferences:

[1] Saure M C. External control of anthocyanin formation in applfe. Sci Hort, 1990,30:252 -282.
[2] Lancaster J. E, Regulation of color in apple. Critical Rev Plant Sci,1992,10:487 -502.
[3] Yuan Y B, Liu C L, Ju Z G, *et al.* Mechanism for red color formation of apple peel. Chinese Society for Horticultural Science and Beijing Agricultural University. Anu Rev Hort Sci. Beijing:Science Press,1995. (1): 121 -132.
[4] Zhang G L. The effect of ecobgical factor on fruit quality. Fruit Tree Science,1994,(2):120 -124.
[5] Li X G,Yu Z Y. Research Progress of Anthocynin,Northern Horticulture,2003,(4):6 -8.
[6] Tong Y A. Anthocynin mensurated method. Nutrition analysis of fruit trees. Beijing:Agriculture Press,1982. 113 -115.
[7] Mensurated Method of Soluble Swatch in Fruit or Vegetable. Compilation of Chinese Foodstuff Industry Criterion. Beijing: Chinese Criterion Press, 1999. 343 -345.
[8] Zhang Y J. Anthracene- ketone prismatic luminosity method. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1981,5(3):167 -171.
[9] Wang J W. PAL mensurated method. Acta Phytophysiologica Sicica,1981,7(4):373 -378.
[10] Tang Q Y,Feng M G. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press, 2002.
[11] Lü Z S,Fruit Tree Physiology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983. 341 -342.
[12] Zhou A Q,Liu C L,Yuan Y B. Activity of chalcone synthase and UDPGal:falvonoid-3-0- glycosytransferase in relation to anthocyanin synthesis in apple. Scientia Horticulturas,1995,63:175 -185.
[13] Li Z,Duan S S,Wu B G. Effects of different intensity of UV-B irradiation enhancement on photosynthetic pigmentsn and polysaccharide content in two algae. Ecologic Science Feb,2003,22(1):042 -044.
[14] Sun J S, Ma B K, Zhang W C. The study on the sharacters of needed light in the coloration of Fuji'apple Skin. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27 (3): 213 -215.

参考文献:

[3] 原永兵,刘成连,鞠志国,等. 苹果果皮红色形成的机制. 园艺学年评. 北京:科学出版社,1995. (1):121 ~132.
[4] 张光伦. 生态因子对果实品质的影响. 果树科学,1994,(2):120 ~124.
[5] 李兴国,于泽源. 花青苷的研究进展. 北方园艺,2003,(4):6 ~8.
[6] 仝月澳."花青苷测定"方法. 果树营养诊断法. 北京:农业出版社,1982.
[7] "水果、蔬菜可溶性糖测定法". 中国食品工业标准汇编. 北京:中国标准出版社,1999. 343 ~345.
[8] 张友杰. 蒽酮分光光度法. 分析化学,1981,5(3):167 ~171.
[9] 王敬文. 苯丙氨酸解氨酶的测定法. 植物生理学报,1981,7(4):373 ~378.
[10] 唐启义,冯明光. 应用《实用统计分析及其 DPS 数据处理系统》软件. 北京:科学出版社,2002.
[11] 吕忠恕. 果树生理. 上海:上海科学技术出版社,1983. 341 ~342.
[13] 黎峥,段舜山,武宝干. UV-B 对两种藻光合色素和多糖含量的影响. 生态科学,2003,22(1):042 ~044.
[14] 孙建设,马宝焜,章文才. 富士苹果果皮色泽形成的需光特性研究. 园艺学报,2000, 27 (3):213 ~215.