

# 灰系統理論在生物學之應用(7)： 白毫烏龍茶製程色素成分變化與 品質關係之研究

許明晃<sup>1</sup> 陳俊良<sup>2</sup> 黃文達<sup>3</sup> 陳國任<sup>4</sup> 楊棋明<sup>5</sup>

關鍵詞：白毫烏龍茶；官能評鑑；色素；灰關聯分析

Key words：Bai-hau Oolong Tea；Sensory tasting；Pigments；Grey relational analysis

## 摘 要

本研究之目的在於了解白毫烏龍茶製作時，各個製茶步驟中茶菁葉綠素 *a*、*b*、類胡蘿蔔素、花青素、類黃酮及多酚類含量之變化，並以官能評鑑中形狀、色澤、水色及香氣滋味等個別分數及色素含量對評鑑總分進行灰關聯分析，以了解色素含量是否可以作為判別茶葉品質的輔助指標。試驗的結果顯示，未被小綠葉蟬叮咬的茶菁，其葉綠素含量較被危害的茶菁為高，而葉綠素含量在白毫烏龍茶製作過程中，並無明顯變化。而類胡蘿蔔素、花青素、類黃酮之含量，隨著製作過程而增加；多酚類則隨著製作過程而減少。灰關聯分

---

<sup>1</sup> 中央研究院生物多樣性研究中心博士後研究

<sup>2</sup> 行政院農委會茶業改良場助理研究員

<sup>3</sup> 國立台灣大學農藝學系講師

<sup>4</sup> 行政院農委會茶業改良場研究員暨國立台灣大學農藝學系副教授

<sup>5</sup> 中央研究院生物多樣性研究中心副研究員暨國立台灣大學農藝學系副教授 (通訊作者)

析的結果顯示，對官能評鑑總分貢獻度之灰排序分別為：香氣滋味>水色>花青素>類胡蘿蔔素>類黃酮>色澤>形狀>葉綠素 *b*>葉綠素 *a*>多酚類。此結果進一步顯示，在白毫烏龍茶製程中對茶葉品質的判別指標除官能評鑑之香氣滋味及水色指標外，花青素或類胡蘿蔔素含量之變化亦可能為判別茶葉品質的輔助指標。

## Abstract

The object of this research is to understand the withering and shaking effect on the tea fermentation, appearance of tea, and the change of the pigments content, liquor color. Experimental results showed that the tea which was not infected by the green leaf hoopers contain more chlorophyll than the tea infected by the green leaf hoopers. The content of chlorophyll did not change significantly during the manufacture process. The contents of carotenoid, anthocyanin, flavonoid increased during the manufacture process. The content of polyphenol decreases during the manufacture process. The grey system theory was applied to pinpoint the effect of pigments and sensory tasting on quality of Bai-hau Oolong tea. The contribution degrees of pigments and sensory tasting, indicated by grey order, to quality of Bai-hau Oolong tea were: aroma taste > liquor color > anthocyanin > carotenoid > flavonoid > color > shape > chlorophyll *b* > chlorophyll *a* > polyphenol. The data further suggest that contents of anthocyanin and carotenoid may help us to judge the flavor quality and grade the tea.

## 前 言

目前在台灣較受消費大眾歡迎喜愛的茶類是青茶類，屬於部分發酵茶。其中的台灣高級烏龍茶，俗稱「椶風茶」的「東方美人茶」，是台灣所產製的部分發酵茶中重萎凋重攪拌之茶類，因其白毫明顯故又稱「白毫烏龍茶」。製茶過程中如何掌控茶葉萎凋及攪拌製程，而使發酵程度適宜，是烏龍茶色、香、味表現之關鍵所在。白毫烏龍茶是台灣特有的茶類，是部分發酵茶中發酵程度最深的一種，其水色為琥

珀色(橙紅色)，滋味醇和具熟果香及蜂蜜香；而茶芽若遭受小綠葉蟬叮咬者其品質較佳，每年芒種至大暑期間為最適產期，因產量有限且成本高，市售價格亦昂貴(阮等，1990；徐等，1993)。近年來，遭受小綠葉蟬叮咬的茶菁所製作的茶類，受到台灣甚至是外國人士的注意，包括有「東方美人茶」、「蜜香紅茶」、「蜜香綠茶」等。

目前包種茶的品質已可藉由外觀、香氣、色澤等的官能評鑑，經統計方法分析

後可以有效加以分類(蔡與張，1986；蔡等，1991)。但有關於白毫烏龍茶的製作方法不若包種茶有一系列的系統探討，陳與陳(2004)曾以不同攪拌次數控制茶葉發酵程度，對白毫烏龍茶之水色與香味品質進行探討。茶葉品質之評鑑通常是藉由評審員進行官能評比，而茶葉中色素等生化組成含量是否可以成為品質評比的輔助指標，與官能評比項目比較何者重要，亦或何者貢獻度較高，值得進一步探討。灰系統理論(grey system theory)可以比較個別子系統對母系統之關聯度、貢獻度或重要性之程度與大小。灰系統理論自中國大陸華中理工大學鄧聚龍教授首次提出後(Deng, 1982)，迄今超過二十年，廣泛地運用在許多領域以協助解決問題，諸如：農業、經濟、工程、水利、生態、醫學、環保、氣象、地質、教育、體育、軍事(Deng

and Guo, 1996)、營養(Yang *et al.*, 1999；Chao *et al.*, 2000；Chu *et al.*, 2003)與生化生態反應等(Huang *et al.*, 2003, 2005；Yang *et al.*, 2004；Chiou *et al.*, 2006)。

本研究擬針對白毫烏龍茶萎凋過程中，各種色素含量之變化進行研究。並以官能評鑑中各項目的分數及色素含量對評鑑總分進行灰關聯分析，以了解色素含量是否可以成為判別茶葉品質的輔助指標。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

於六月份芒種前、後，採收遭小綠葉蟬叮咬及未被叮咬之青心大冇茶菁，以下列七種不同攪拌次數製作白毫烏龍茶，合計十四種處理。

- (1) 茶菁→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-0,I-0)
- (2) 茶菁→日光萎凋→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-Su,I-Su)
- (3) 茶菁→日光萎凋→一次攪拌及萎凋→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-1,I-1)
- (4) 茶菁→日光萎凋→二次攪拌及萎凋→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-2,I-2)
- (5) 茶菁→日光萎凋→三次攪拌及萎凋→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-3,I-3)
- (6) 茶菁→日光萎凋→四次攪拌及萎凋→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-4,I-4)
- (7) 茶菁→日光萎凋→五次攪拌及萎凋→炒菁→悶置→揉捻→乾燥 (H-5,I-5)

未被小綠葉蟬叮咬的材料分別以 H-0, H-Su, H-1, H-2, H-3, H-4, H-5 代表七種處理。

遭受小綠葉蟬叮咬的材料分別以 I-0, I-Su, I-1, I-2, I-3, I-4, I-5 代表七種處理。

二、針對不同製程之白毫烏龍茶進行葉綠素 *a*、葉綠素 *b*、類胡蘿蔔素、花青素、類黃酮及多酚類等的定量。

1. 葉綠素(Chl)及類胡蘿蔔素(Car)的測定

根據 Yang *et al.* (1998) 所建立之方法進行測定。甘蔗葉片以液態氮急速冷凍，並以研鉢磨成細粉後進行冷凍乾燥。秤取 0.01 g 樣品細粉，以 80% 丙酮萃取色素，在 4,500 rpm 離心 5 分鐘，取上清液，以 Hitachi U-2000 光譜儀(spectrophotometer) 測定  $A_{663.6}$ 、 $A_{646.6}$  及  $A_{440.5}$  的吸收值。三者分別為 Chl *a*、Chl *b* 及 Car 的強吸收處。以 Porra *et al.* (1989) 的公式計算 Chl *a* 與 Chl *b* 的含量；以 Holm (1954) 的方法計算 Car 的含量。

2. 花青素及類黃酮之測定

花青素 (anthocyanin) 的含量以 Mancinelli *et al.* (1975) 方法測定，以 1% HCl 的甲醇溶液萃取花青素後，測定  $A_{530}$  及  $A_{657}$  的吸收值，並計算含量。類黃酮素 (flavonoid) 的含量根據 Geisman (1955) 的方法，以酒精萃取類黃酮素，再加入 1 滴 1% HCl 後，測定  $A_{540}$  的吸收值。

3. 多酚類化合物測定

多酚類化合物含量以 Taga *et al.* (1984) 方法測定，標準品 gallic acid 及適量甲醇萃取物分別以 0.3% HCl 酸化的 ethanol/water (60:40, v/v) 溶液溶解至一定濃度，各取 100 L 加入 2 mL 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，混合均勻，放置 2 分鐘後，加入 50% Folin-Ciocalteu reagent 2 mL，混合均勻後於室溫下放置 30 分鐘，於 750 nm 下測定吸光度，由 gallic acid 的標準曲線計算樣品總多酚類化合物含量。

三、進行不同發酵程度的白毫烏龍茶的官能品評比較。茶葉品質官能評鑑之方法，比照現行之評鑑法的沖泡與評審，秤取茶樣 3 g，加入 100°C 沸水 150 ml 沖泡，靜置 5 分鐘後濾出茶湯，進行形狀、色澤、水色、香氣滋味之評分。評審員為具有優良茶評審實務經驗之 3 名評審員。

四、灰關聯分析。以官能評比之各項目及色素含量為子系統，而以官能評比總分為母系統，依據 Deng (1982, 1989) 之原理與步驟進行，其方法如下列：

1、原始數據列的均質化(mean value normalization):

當原始數據列為  $x_0(k) = (x(1), x(2), x(3), \dots, x(k))$ ，其平均值為  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k)$ ，

則其均質化序列為  $x_0^* = \left( \frac{x(1)}{\bar{X}}, \frac{x(2)}{\bar{X}}, \frac{x(3)}{\bar{X}}, \dots, \frac{x(k)}{\bar{X}} \right)$

- 2、求兩極最大差和最小差，進而計算灰關聯係數(grey relational coefficient)  $\gamma$ ，其定義如下：

$$\gamma(x_0(k), x_j(k)) = \frac{\min_j \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\| + \zeta \max_j \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|}{\|x_0(k) - x_j(k)\| + \zeta \max_j \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|}$$

$$j = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, n$$

$\zeta$  是辨識係數(identification coefficient)，其值介於[0,1]之間，一般訂為 0.5。

$x_0$  是參考序列(reference data series)。

$x_j$  是試驗序列(test data series)。

$\|x_0(k) - x_j(k)\|$  是  $x_0(k)$  和  $x_j(k)$  之差的絕對值

$\min_j \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$  是選自所有  $j, k$  之第一最小差(the first minimum difference)

所有  $\max \max$  亦如上之取法。

- 3、計算灰關聯度  $\gamma^*(x_0, x_j)$ ，其運算如下：

$$\gamma^*(x_0, x_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_j(k))$$

- 4、排出灰關聯序或灰序(grey relational order or grey order)。

## 結果與討論

官能品評的結果如表 1 所示，未被小綠葉蟬叮咬的茶菁，依照白毫烏龍茶的製程，到攪拌第四次時可以形成熟果味，但沒有蜜香味。可知熟果味是因為發酵作用而形成，因此重發酵的白毫烏龍茶、本研

究中未被小綠葉蟬叮咬的茶菁所製得的茶，和全發酵的紅茶都具有熟果味。而蜜香是因為小綠葉蟬叮咬所形成的特殊風味，無論是白毫烏龍茶，或是其他由小綠葉蟬叮咬茶菁製成的蜜香綠茶或蜜香紅茶，其製程雖不盡相同，卻同樣可以形成蜜香味。在本研究中，茶葉的顏色隨著製

程的進行，發酵程度的增加，由綠色逐漸轉為黃色，最後成為紅褐色。而水色則是由淡綠色，轉變成黃色，最後變成橙紅色。由表 1 可知白毫烏龍茶之製作，需取小綠

葉蟬叮咬過的茶菁，至少需經過 4 次以上攪拌，才能形成其特有的蜂蜜熟果香的味道。

表 1 不同製程白毫烏龍茶之品質官能評審成績

Table 1 Sensory evaluation of Bai-hau Oolong Teas made by different manufacturing processes

處理 編號	形狀	色澤	水色	香氣 滋味	總分	色澤 評語	水色 評語	滋味評語
	10%	10%	20%	60%	100%			
H-0	7	3	10	30	50	翠綠	淡綠	綠茶味
H-Su	7	3	10	30	50	暗綠	淡綠	綠茶味，淡
H-1	7	3	10	30	50	暗綠帶黃	淡黃	綠茶味，菁味，淡
H-2	7.5	5	12	32	56.5	黃綠	黃紅	淡，澀，菁味
H-3	7.5	7	16	38	68.5	黃紅褐	黃紅	澀，菁味
H-4	7.5	8	18	40	73.5	紅褐多	橙紅清澈	熟果味形成
H-5	7.5	8	18	44	77.5	褐帶紅	橙紅清澈	熟果香
I-0	7.5	4	8	30	49.5	黃綠	淡綠	綠茶味
I-Su	7.5	4.5	10	30	52	暗綠	淡綠	綠茶味
I-1	8	4.5	10	34	56.5	暗綠帶黃	淡黃	蜜香形成，綠茶味，菁味
I-2	8	5	12	36	61	黃綠偏黃	黃紅	蜜香，菁，澀
I-3	8	8	15	40	71	黃紅	黃紅	熟果味形成，蜜香，淡，澀
I-4	8	9	18	46	81	黃紅	橙紅清澈	蜜香，熟果味
I-5	8	8	18	50	84	黃紅帶褐	橙紅清澈	蜜香，熟果味，味強清純

本研究中針對遭受小綠葉蟬叮咬及未被叮咬的茶菁原料，進行七個不同製程所製作之白毫烏龍茶，分析各色素之含量。結果顯示，在葉綠素 *a*、*b* 方面，並未隨著製茶過程的進行而有明顯的趨勢性變化，

未遭叮咬的茶其葉綠素含量比有遭叮咬的茶為高(表 2)。在類胡蘿蔔素、花青素、類黃酮方面，則是無論原料是否被叮咬，皆有隨著製茶過程的進行而含量增加的趨勢，顯示隨著發酵程度的增加，這些色素

的含量也增加，而花青素的含量則是以被叮咬的茶較多(表 2)。多酚類的含量則是隨著製茶過程的進行而逐漸減少，顯示多酚

類的含量隨著發酵程度的增加而減少(表 2)。

表 2 不同製程白毫烏龍茶之色素、類黃酮及多酚類含量

Table 2 The contents of pigments, flavonoid and polyphenol of Bai-hau Oolong Teas made by different manufacturing processes

處理編號	葉綠素 <i>a</i> g/g	葉綠素 <i>b</i> g/g	類胡蘿蔔素 g/g	花青素 ( $A_{530}-0.333A_{657}$ )/g	類黃酮 $A_{540}$ /g	多酚類 mg/ml G
H-0	1703±132	580±52	1133±76	55±9	43±7	170±3
H-Su	1986±52	748±23	1312±36	68±9	52±6	157±18
H-1	1723±190	684±82	1174±124	58±2	44±6	162±17
H-2	1752±128	678±51	1305±83	62±7	52±4	162±7
H-3	1649±219	657±86	1493±193	75±3	75±3	128±10
H-4	1800±100	736±39	1745±63	85±3	71±2	106±14
H-5	1747±65	736±35	2150±73	105±4	78±12	72±10
I-0	1131±53	390±23	799±52	75±11	38±1	211±18
I-Su	1364±85	513±24	979±41	70±4	43±2	196±11
I-1	1179±82	463±54	877±58	69±4	36±2	210±3
I-2	1251±71	501±36	1089±40	76±2	40±5	173±2
I-3	1246±118	510±52	1453±127	87±8	49±2	170±21
I-4	1275±89	553±46	1906±89	97±3	65±8	122±8
I-5	1137±88	522±33	2201±113	115±3	84±3	79±22

以形狀、色澤、水色及香氣滋味等四種官能評比項目及葉綠素 *a*、*b*、類胡蘿蔔素、花青素、類黃酮及多酚類等生化組成因子作為灰關聯分析之試驗系列，而以官能評比中之總分作為參考系列，先進行均值化處理，繼而進行灰關聯分析，得到之灰關聯度值(grey relational value)及灰序

(grey order)，如表 3 所示。依灰關聯理論，此灰序顯示四種官能評比項目及六種生化組成因子對白毫烏龍茶官能評比的總分之貢獻度為：香氣滋味>水色>花青素>類胡蘿蔔素>類黃酮>色澤>形狀>葉綠素 *b*>葉綠素 *a*>多酚類。

另同樣以官能評比項目及色素生化組成因子對品質總分進行簡單相關分析，其相關係數結果亦列於表 3。其中香氣滋味、水色、色澤、花青素、類胡蘿蔔素及類黃酮含量達極顯著之正相關，而多酚類

含量則達極顯著之負相關。基本上，簡單相關分析之正相關係數越高者，其灰關聯序亦排在前面；而負相關係數越高者，則其灰關聯序則排在後面(表 3)。

表 3 不同製程白毫烏龍茶之品質官能評審成績及色素含量對評鑑總分之灰關聯分析及簡單相關分析

Table 3 The grey relational analysis and simple correlation analysis of pigments and sensory tasting on quality of Bai-hau Oolong tea

	灰關聯度	灰排序	相關係數
形狀	0.7356	7	0.6132*
色澤	0.7422	6	0.9610**
水色	0.8556	2	0.9664**
香氣滋味	0.9398	1	0.9864**
葉綠素 <i>a</i>	0.6943	9	-0.2185
葉綠素 <i>b</i>	0.7109	8	0.1123
類胡蘿蔔素	0.7857	4	0.8953**
花青素	0.8552	3	0.9056**
類黃酮	0.7735	5	0.8292**
多酚類	0.5591	10	-0.8116**

\*,\*\* 分別為 0.05 及 0.01 顯著水準。

官能評比中香氣滋味佔評比總分之 60%，水色則佔 20%，兩項因子合計佔評比總分達 80%，在灰關聯分析中之灰排序亦佔第一、二位，此即顯示香氣滋味及水色為構成茶葉品質的主要因子。灰排序第三至第五位為色素生化組成，分別為花青素、類胡蘿蔔素及類黃酮。第六及第七為官能評比項目的色澤及形狀，色素生化組

成葉綠素 *b*、葉綠素 *a* 及多酚類則佔後三位。

灰排序第三位的花青素在茶葉中的含量約占乾物重的 0.01% 左右，在紫色茶芽葉含量可達 0.5~1%，其顏色呈現紅紫色。在本研究中花青素的含量隨著白毫烏龍茶的製作而逐漸增加，花青素的累積造成了白毫烏龍茶的外觀顏色逐漸轉變紅變褐



色。葉綠素與類胡蘿蔔素兩者皆為脂溶性色素，均參與光合作用的反應。葉綠素分為藍綠色的葉綠素 *a* 和黃綠色的葉綠素 *b*，約占茶葉乾重的 0.6% 左右；類胡蘿蔔素為黃色色素。在茶樹葉片中葉綠素含量約為類胡蘿蔔素的四倍，使葉片在正常情況下呈現綠色。在本研究中，隨著白毫烏龍茶製作過程，類胡蘿蔔素含量逐漸增加(表 2)，正說明了白毫烏龍茶外觀顏色隨著攪拌次數的增加，由綠轉黃成黃褐色的現象(表 1)。而類胡蘿蔔素在茶葉製作過程中受到酵素及熱作用的影響轉化成為紫羅蘭酮(ionone,  $C_{13}H_{20}O$ )、二氫海葵內酯

(dihydroactinidiolide,  $C_{11}H_{16}O_2$ )及茶螺烯酮(theaspiron,  $C_{12}H_{20}O$ )等增進香氣的芳香物質，與成茶的品質有關。

本研究的結果顯示，白毫烏龍茶不同製程中各花青素及類胡蘿蔔素含量的變化趨勢與官能評鑑中色澤、水色及香氣滋味變化結果相符合(表 1、表 2)。灰關聯分析的結果亦顯示，花青素與類胡蘿蔔素含量灰排序在香氣滋味及水色之後；此結果進一步顯示，在白毫烏龍茶製程中對茶葉品質的判別指標，除官能評鑑之香氣滋味及水色指標外，花青素或類胡蘿蔔素含量之變化亦可能為判別茶葉品質的輔助指標。

## 引用文獻

1. 阮逸明、陳英玲、陳惠藏。1990。茶業改良場 79 年年報。pp.64-66。
2. 徐英祥等。1993。台灣茶業研究彙報。12:137-145。
3. 陳國任、陳俊良。2004。台灣茶業研究彙報。23:107-114。
4. 蔡永生、張如華。1986。台灣茶業研究彙報。5:127-134。
5. 蔡永生、區少梅、張如華。1991。台灣茶業研究彙報。10:77-87。
6. Chao, P. Y. *et al.* 2000. *J. Grey Sys.* 2:187-198。
7. Chu, Y. H. *et al.* 2003. *J. Grey Sys.* 15:67-72。
8. Chiou, C. R. *et al.* 2006. *Cop Environ. Bioinformatics* 3:355-360。
9. Deng, J. L. 1982. *Systems Control Lett.* 5:288-294。
10. Deng, J. L. and H. Guo. 1996. *The Principle and Application of Grey Prediction.* Chuan-Hua Technology Press。
11. Geisman, M. F. 1955. *Modern Method of Plant Analysis.* pp.420。
12. Holm, G. 1954. *Acta Agric. Scand.* 4:457-461。
13. Huang, W. D. *et al.* 2005. *J. Grey Sys.* 17:67-72。
14. Huang, W. D. *et al.* 2003. *J. Agric. China* 4:550-556。
15. Mancinelli, A. L. *et al.* 1975. *Plant Physiol.* 55:251-257。
16. Porra, R. J. *et al.* 1989. *Biochem. Biophys. Acta* 975:384-394。
17. Taga, M. S. *et al.* 1984. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 61:928-931。
18. Yang, C. M. *et al.* 1998. *Taiwania* 43:116-122。
19. Yang, C. M. *et al.* 1999. *Nutr. Sci. J.* 24:201-214。
20. Yang, Z. W. *et al.* 2004. *Crop, Environ. Bioinformatics* 1:199-206。