

水分活度对碧螺春绿茶贮存稳定性的影响

成玉梁¹, 夏秀华², 钱和^{*1}, 韩 婵¹

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 无锡商业职业技术学院, 江苏 无锡 214100)

摘要: 以碧螺春绿茶为实验材料, 研究水分活度对绿茶贮存稳定性的影响。结果表明, 水分活度对绿茶的贮存稳定性有很大的影响。不同水分活度下贮存 4 个月后, 在高水分活度区域, 绿茶的稳定性显著下降, 各生化成分含量迅速降低。在低水分活度区域, 碧螺春茶相对稳定, 但脂质、咖啡碱、儿茶酚等成分含量的保留值小于 $A_w 0.33$ 处。碧螺春绿茶在 $A_w 0.2 \sim 0.3$ 范围内(单层水分含量对应范围)具有最佳稳定性。

关键词: 水分活度; 绿茶; 稳定性

中图分类号: S 571.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2012)07—0759—07

The Effect of Water Activity on Stability of Green Tea during Storage

CHENG Yu-liang¹, XIA Xiu-hua², QIAN He^{*1}, HAN Chan¹

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi Institute of Commerce, Wuxi 214100, China)

Abstract: The effect of water activity on the stability of green tea during storage was studied in this manuscript. The Guggenheim—Anderson—de Boer (GAB) equation was applied to model experimental data for moisture content as a function of water activity, and to calculate the monolayer moisture content, where the oxidative reactions are expected to be at minimum. Estimated monolayer moisture content was approximately 3.5%. It was concluded that the rate of ingredients in green tea were at minimum over the water activity range 0.2~0.3. High water activity could accelerated the degradation of green tea.

Key words: water activity, green tea, stability

食物物料的水活性决定了食品内含物质的反应速率。茶叶内含物质是茶叶品质的基础, 研究碧螺春绿茶贮存过程中水分活度对品质成分含量的影响具有重要意义。水分活度对绿茶贮存稳定性的影响, 以往曾作过一些尝试和研究, 如姚江等人曾研究了茶叶的水分活度并初步探讨了水分对茶叶品质和贮藏过程中品质稳定性影响, 降低含水

率, 不仅保持茶叶品质稳定, 而且使茶叶审评品质提高^[1], 刘永敏也对各级茶叶的水分吸附物理量进行了测定, 并以 BET 模型测得各级茶叶的单分子层含水量 2.0%~2.5% 之间^[2]。这些研究都为绿茶的贮藏和保鲜技术提供了重要的理论依据和技术支持。

水分活度表示茶叶水分存在的真实状态, 它表达了水能为化学反应和物理过程利用的有效程

收稿日期: 2011—08—05

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD01B02); 苏州市科技支撑计划(农业部分)项目(SN201033)。

作者简介: 成玉梁(1980—), 男, 江苏无锡人, 工程师, 主要从事食品安全与质量控制研究。E-mail: spky@jiangnan.edu.cn

* 通信作者: 钱和(1962—), 女, 江苏无锡人, 工学博士, 教授, 主要从事食品安全与质量控制研究。E-mail: amtf168@126.com

度。作者用 GAB 模型研究碧螺春绿茶等温吸附特性以及水分活度对绿茶品质化学组份含量的影响,探讨水分活度对绿茶贮存稳定性的影响及其作用机理,为进一步研究绿茶的常温保鲜技术提供理论依据和实践基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

碧螺春绿茶,苏州市吴中区庭山碧螺春茶叶有限公司提供(新茶);相关标准品购置于上海 Sigma 公司;试剂均为分析纯。

1.2 实验方法

将 5 g 碧螺春绿茶样品均匀的铺在 $D60\text{ mm}$ 的培养皿中,分别贮存于装有不同饱和盐溶液的干燥器中,按实验所需每个干燥器中放入若干个装有样品的培养皿,将干燥器置于恒温箱中,平衡 10 d 后,分别于不同时间取样分析其生化成分。其中,水分测定于 0 和 10 d,茶多酚、氨基酸总量分别于 0、15、30、60、90 和 120 d 取样测定,其他指标于 120 天分析,重复 3 次。

表 1 各饱和溶液水分活度表

Tab. 1 Water activity of the saturated solution

饱和溶液	水分活度 (25℃)	水分活度 (40℃)
氯化锂	0.113	0.112
乙酸钾	0.225	0.206
氯化镁	0.328	0.316
碳酸钾	0.438	0.433
硝酸镁	0.529	0.499
碘化钾	0.689	0.661
硝酸钠	0.743	0.710

注:引自《食品工程测试》(上海交大出版社)

1.3 分析检测方法

分析测定:茶叶含水量采用国标仲裁法检测(GB/T8304—2002)^[3],茶多酚采用酒石酸亚铁比色法测定(GB/T8313—2002)^[4],游离氨基酸采用茚三酮比色法分析(GB/T8314—2002)^[5],4 种儿茶素和咖啡碱用高效液相色谱法测定(GB/T8313—2008)^[6],脂质含量采用酸性乙醚提取法测定^[7]。

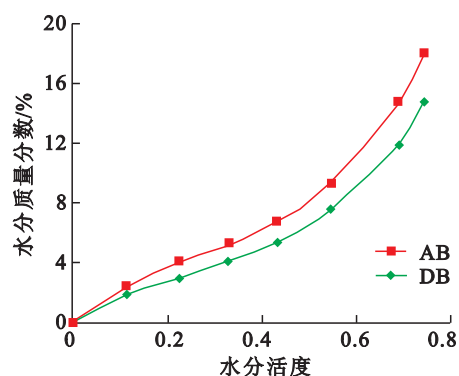
2 结果与分析

2.1 等温吸附曲线

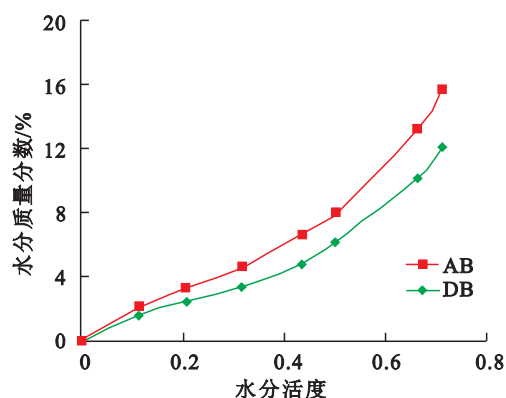
碧螺春绿茶的等温吸附线如图 1 所示,在众多的数学模型中,GAB 模型对大多数食品的等温吸附线具有很好的描述。GAB 等温线模型如下式所示:

$$M = \frac{m_0 C k a_w}{(a - k a_w)(a - k a_w + C k a_w)}$$

式中, M 为指定 a_w 下的平衡水分质量分数; m_0 为单层值; C 和 k 为常数。



(a) 25℃ 吸附和解吸曲线



(b) 40℃ 吸附和解吸曲线

图 1 碧螺春的等温吸附曲线(AB 为吸附曲线,DB 为解吸曲线)

Fig. 1 Isothermal adsorption of biluochun(AD—adsorption, DB—desorption)

实验数据对 GAB 模型具有很好的拟合,25℃ 和 40℃ 下的 R^2 值分别为 99.96%,99.84%。GAB 模型相应参数 C, k 值的回归分析结果见表 2,25℃ 和 40℃ 下碧螺春绿茶的单分子层水含量分别为 3.99% 和 3.44%(湿基)。温度对碧螺春绿茶的吸附特性影响不大,温度升高,等温吸附线表现为右移,这与 Kaleemullah 等^[8]对红辣椒干的等温吸附

研究结果一致。

在绿茶的等温吸附特性和单分子层水分含量方面,也有学者作了一些研究,结果各有差异。姚江等人分别运用 Cauries 多分子层吸附模型和 BET 模型对三级杭炒青的吸附数据进行拟合分析,在两种不同的模型下计算得到的单层水分含量略有不同,分别为 5.12% 和 3.27% (干基)^[9];刘用敏以 BET 模型测得各级茶叶的单分子层含水量在 2.0%~2.5% 之间^[2];Hitoshi yoshitomi 测出煎茶单分子层水分质量分数为 3%^[10];阮逸明等曾测出各类茶含有的单分子层水分质量分数分别为煎茶 3.45%、色种茶 3.61%、乌龙茶 3.71%、碎型红茶 3.75%^[11]。由于茶叶种类和加工方法的不同,造成了结构和成分的差异,因此不同的茶叶具有不同的单层水分值。作者用 GAB 模型拟合实验数据,具有较高的 R 值,并测出各茶叶的单层水分质量分数为 3.5% 左右。

食品的含水量等于单层结合水含量时,食品物料具有最佳稳定性。丁晓芳研究发现茶叶含水量 3~5% 时保藏效果最佳,茶叶的单层水分含量亦处于范围内^[12]。姚江等^[1]认为茶叶的含水率不是越低越好,而以单分子层时最好,茶叶一般为 4%~5% (湿基),质量好的茶叶,单分子层含水量比质量差的要高一些。Lavelli 等^[13]人以 GAB 模型测定干胡萝卜片的单层分子水质量分数在 6.6% 左右,而其中的胡萝卜素含量在水分质量分数 6.6%~7.5% 范围内降解速率最低,即具有最佳稳定性。绿茶中具有丰富的叶绿素含量,研究发现在贮存过程中,菠菜中叶绿素含量在单层水分质量分数附近保留率较高^[14]。作者对通过对绿茶吸附特性的研究并计算得到绿茶单层水分质量分数为 3.5% 左右,而绿茶在该水分含量下的稳定性是否能达到理想状态还有待验证,因此研究的下一步就集中在绿茶于不同水分活度下的贮存稳定性。

表 2 绿茶吸附特性的数学模型

Tab. 2 Mathematical modeling of green tea sorption properties

原料	温度/ ℃	相对质量 分数/%	模型及参数			
				C	k	R
碧螺春绿茶	25	3.37	GAB	4.601	1.007	0.999 6
	40	3.65		5.297	1.037	0.998 4
杭州炒青 ^[5]	40	5.12	Caurie	n d		0.999 7
	40	3.27	BET	n d		0.996 0
福建四级茶叶 ^[2]	25	2.12	BET	n d		0.981 8
煎茶 ^[6]	20	3.00	BET	n d		0.989 0

2.2 水分活度对绿茶中茶多酚及儿茶素质量分数的影响

茶多酚是决定绿茶滋味的重要组成部分之一,还原性很强,极易氧化并产生褐色的氧化产物,使茶汤颜色变深、变褐,茶汤失去原有的鲜爽甘甜滋味。此外,已有大量的研究证明茶多酚是一种营养保健价值极高的天然生物活性成分,对人体免疫力提高和防病抗病等方面均具有良好的效果^[15]。

茶多酚在绿茶中的含量变化反应了绿茶总体质量的改变,因此测定不同水分活度下绿茶中茶多酚的含量变化可以反映出水分活度对绿茶质量的影响状况。

25℃ 不同水分活度下贮存,茶多酚含量变化如表 3 所示。可以看出,随着贮藏过程的延长,茶多

酚含量都有不同程度的降低,总体上呈现逐渐下降的变化趋势。特别在水分活度高的贮藏条件下,茶多酚含量降低非常显著。水分活度在 0.743 时,经过 15 天的贮存,茶多酚含量与其他较低水分活度下样品相比具有显著差异。贮存第 30 天, $a_w > 0.43$ 下的样品茶多酚含量显著低于 $a_w < 0.43$ 下样品。此后, $a_w < 0.43$ 下样品中的茶多酚含量基本持平,而 $a_w > 0.43$ 下的样品茶多酚含量则显著低于前者。其原因在于,氧化反应在物料水分含量于单分子层含量附近时具有最低的反应速率^[16]。研究采用的碧螺春绿茶为原料,经测定其单分子水分质量分数为 3.5% 左右,相应的水分活度介于 0.2~0.3 之间,茶多酚含量则是在此水分活度以下都维持了一个较高的保留量,即它的稳定最优水分活度

点向高水分活度发生了偏移,这与 Lavelli 等人的实验结果一致^[13]。

表 3 25 ℃ 绿茶不同水分活度贮藏过程中茶多酚质量分数的变化

Tab. 3 Variation of tea polyphenols of green tea under different storage water activities at 25 ℃

水分活度	茶多酚质量分数/(mg/g)				
	15 d	30 d	60 d	90 d	120 d
0.113	139.66±2.58 ^a	137.54±2.46 ^{ab}	135.48±2.39 ^a	130.83±3.28 ^a	128.25±1.35 ^{ab}
0.225	141.45±2.56 ^a	138.05±2.48 ^a	135.35±3.21 ^a	131.65±3.62 ^a	129.82±1.95 ^{ab}
0.328	141.24±3.12 ^a	139.55±2.54 ^a	137.57±3.44 ^a	134.99±2.54 ^a	131.28±2.55 ^a
0.438	139.15±2.52 ^a	137.24±2.45 ^{ab}	133.31±1.24 ^a	130.41±3.22 ^a	127.54±1.06 ^b
0.544	138.02±2.50 ^a	132.54±2.98 ^{bc}	121.42±2.94 ^b	109.93±1.96 ^b	101.14±2.45 ^c
0.689	137.14±4.81 ^a	131.62±2.46 ^c	117.12±3.55 ^b	101.1±4.80 ^c	78.03±0.39 ^d
0.743	129.93±2.44 ^b	115.01±4.16 ^d	102.85±2.52 ^c	85.66±4.24 ^d	64.78±1.98 ^e

注:a,b,c,d,e 同一列字母不同表示具有差异显著性。茶多酚的初始含量为 143.62±0.35mg/g。

儿茶素是茶多酚的主体成分,占茶叶中总酚含量的 60%~80%。儿茶素具有 2-苯基苯并吡喃的结构,主要包括 4 种,即表儿茶素(EC)、表没食子儿茶素(EGC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)^[17]。测定绿茶在贮

存过程中几种主要儿茶素的含量变化能够更精细的反应绿茶质量的变化。作者采用高效液相色谱法测定了绿茶中 4 种主要儿茶素的含量,样品测定色谱图如图 2。

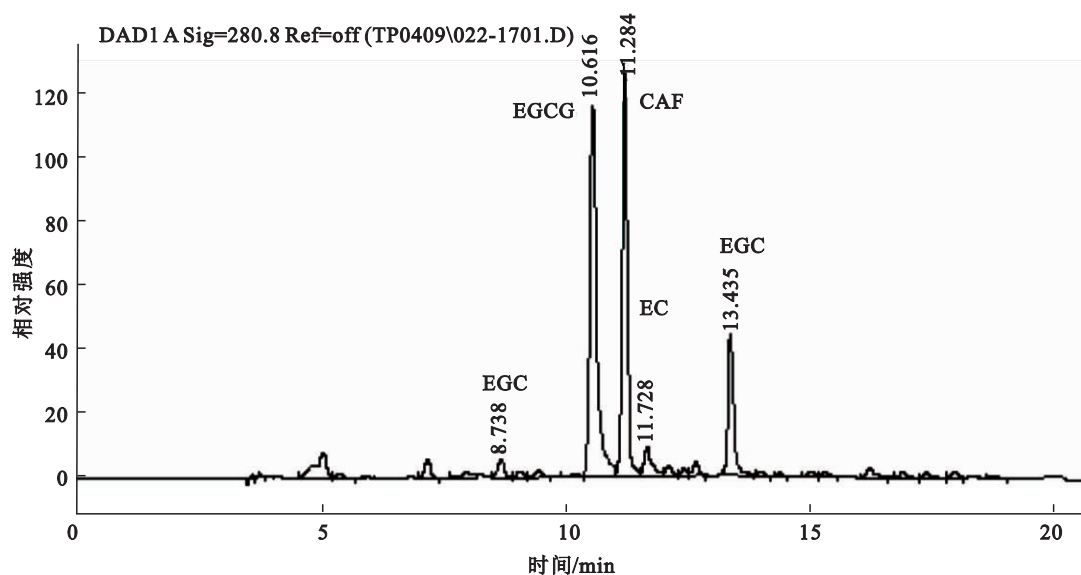


图 2 高效液相色谱法测定绿茶中几种儿茶素以及咖啡碱含量色谱图

Fig. 2 HPLC profiles of Catechins and caffeine concentrations in green tea stored at a_w 0.43 at 25 ℃ for 4 months

绿茶中几种儿茶素的初始质量分数分别为 EC: 12.01 mg/g, EGC: 19.81 mg/g, ECG: 17.61 mg/g, EGCG: 74.57 mg/g。经过 4 个月的贮存后,

儿茶素都有不同程度的下降(图 3)。由结果可知,几种儿茶素在不同的水分活度下降解趋势基本一致。在 $a_w=0.33$ 的水分活度条件下,经过 4 个月

的贮存,含量减少幅度最小。 $a_w < 0.33$,儿茶素的降解缓慢,各水分活度下的保留量基本持平; $a_w > 0.43$ 的水分活度下,儿茶素降解迅速,并随水分活度升高降解加快。以EC为例,从低到高水分活度下,含量依次减少了2.57、2.22、1.52、3.00、3.43、4.95 mg/g和6.29 mg/g。EGC、ECG和EGCG也具有相同趋势。

Ortiz等人^[18]曾报道,在22℃下贮存3个月,当 $a_w < 0.43$ 时儿茶素表现出良好的化学稳定性,而当 $a_w > 0.43$ 时,水分活度的增大对儿茶素的降解具有显著的促进作用。作者实验与之相比,即有统一之处,又包含了差异。本实验中儿茶素的降解情况,在水分活度0.33时4种儿茶素保留量均最高; $a_w < 0.33$ 时,儿茶素亦表现出较好的化学稳定性;而当 $a_w \geq 0.43$ 时,水分活度的增大对儿茶素的降解具有显著的促进作用。

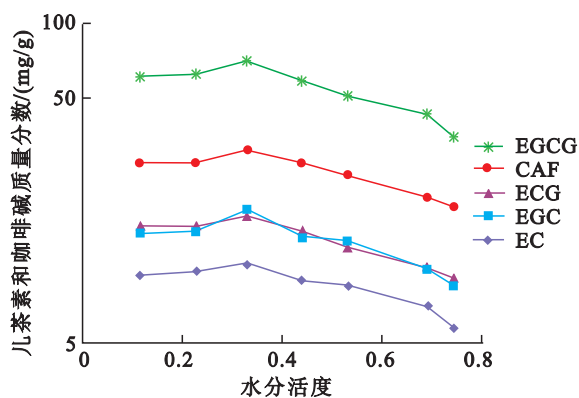


图3 25℃不同水分活度绿茶贮存4个月儿茶素和咖啡碱质量分数的变化

Fig. 3 Catechins and caffeine concentrations (mg/g) in green tea stored for 4 months in environmental chambers with a_w 0.113–0.743

咖啡碱是茶叶中主要的嘌呤碱,是茶叶中的特征性成分之一。茶叶重要的滋味物质,其与茶黄素以氢键缔合后形成的复合物具有鲜爽味,因此,茶叶咖啡碱含量也是影响茶叶质量的一个重要因素,与茶汤滋味有很大的正相关性^[19]。

咖啡碱的含量为31.186 mg/g(即初始含量)。25℃不同水分活度下贮存4个月后,绿茶中咖啡碱含量如图3所示,从图中可看出,贮存过程中咖啡碱含量总体呈下降的趋势,各水分活度下咖啡碱的含量分别下降了4.011、3.902、0.461、4.103、7.000、11.549、13.061 mg/g。咖啡碱含量随水分

活度的变化趋势与儿茶素一致,同样在 $a_w 0.33$ 处拥有最大保留量,与初始含量相比,仅下降了1.5%。

2.3 水分活度对绿茶中氨基酸质量分数的影响

绿茶中的氨基酸是其鲜爽味主要呈味物质,几种茶叶中的游离氨基酸本身就是滋味因子,茶氨酸具有类似味精的鲜爽和焦糖香气,对茶汤的滋味和香气都有良好的作用;谷氨酸和天门冬氨酸具有鲜味;精氨酸具有鲜甜滋味。茶叶贮存过程中,氨基酸会被醌类物质氧化而发生褐变,并与还原糖发生美拉德反应生成深褐色物质。游离氨基酸多来源于蛋白质水解,因此其在贮存过程中变化非常复杂。由于实验条件有限,作者只对游离氨基酸的总量进行检测分析,结果如表4。在本研究中,氨基酸总量在贮存的前期有小幅度的上下波动,而在贮存时间达到3个月以上时,其总量开始呈现出明显的下降趋势,且水分活度越大,其含量减少越多。贮存4个月后,从低到高各水分活度下游离氨基酸总量的保留率依次为90.4%、89.7%、88.1%、85.6%、77.4%、76.4%、66.3%。氨基酸的保留率在贮存4个月后随着水分活度的增大而减小。从水分活度上看,贮存期间氨基酸总量变化趋势有所不同。在低水分活度下(0.113~0.328),氨基酸的含量随时间增加逐步减少。然而在高水分活度区域(0.438~0.743),绿茶中氨基酸的含量呈现出波动性变化,中间有一个上升的过程。这种结果表明,高水分活度对绿茶内氨基酸转变的影响很大,而且过程是复杂的。陆锦时^[18]认为,氨基酸在贮藏过程中的变化,包括氨基酸氧化降解和水溶性蛋白的水解。水分活度升高时,蛋白的水解速度加快。因此在高水分活度下,游离氨基酸含量的波动性变化非常明显。氨基酸的总含量变化基本上遵循氧化与水解两种反应的总结果。另外,由于绿茶中的糖与氨基酸发生美拉德褐变,也会影响氨基酸的含量变化。当水分活度升高时,分子的流动性增加导致美拉德褐变反应速率加快^[20]。黄力华^[21]在正常条件下的绿茶贮存实验表明,贮藏前期氨基酸含量明显上升,至4月份后开始下降。姚江研究认为,绿茶在水分活度为0.43左右时,其游离氨基酸含量保留值最高。

表 4 绿茶不同水分活度贮藏过程中氨基酸总量的变化 (mg/g)

Tab. 4 Variation of amino acids of green tea under different storage water activities

水分活度	氨基酸质量分数/(mg/g)				
	15 d	30 d	60 d	90 d	120 d
0.113	25.52±0.42 ^a	25.25±0.52 ^a	24.94±0.35 ^a	24.02±0.26 ^a	23.41±0.70 ^a
0.225	25.39±0.43 ^a	25.15±0.44 ^a	24.77±0.49 ^{ab}	23.92±0.51 ^a	23.24±0.44 ^a
0.328	25.67±0.62 ^a	25.04±0.73 ^{ab}	24.74±0.92 ^{ab}	23.08±0.42 ^b	22.81±0.25 ^{ab}
0.438	25.04±0.37 ^{ab}	24.63±0.25 ^{ab}	23.59±0.78 ^b	22.09±0.28 ^c	22.16±0.46 ^b
0.544	24.19±0.86 ^{ab}	24.85±0.20 ^{ab}	24.41±0.34 ^{ab}	22.92±0.15 ^b	21.05±0.65 ^c
0.689	24.70±0.12 ^{bc}	24.25±0.18 ^{bc}	24.80±0.58 ^{ab}	22.67±0.20 ^{bc}	19.80±0.69 ^d
0.743	23.48±0.64 ^{bc}	24.09±0.45 ^c	25.19±0.95 ^a	22.39±0.71 ^{bc}	17.16±0.62 ^c

注: a, b, c, d, e 同一列字母不同表示具有差异显著性。

2.4 水分活度对绿茶中脂质质量分数的影响

茶鲜叶中脂类物质含量很高,达干重的 7%,其中主要是不饱和脂肪酸(棕榈酸 21%,油酸 18%,亚油酸 18%,亚麻酸 29%)。这些脂类物质经过加工过程的转化,一部分转化成挥发性的香气物质,一部分仍以脂肪酸等形式保留在成茶中^[22]。在茶叶的贮存过程中,随着贮存时间的延长,脂类化合物水解释放游离脂肪酸,并发生氧化,使茶叶产生腐败味。茶叶香气品质的变化是伴随脂质的水解和自动氧化进行的。不饱和脂肪酸在氧气作用下自动氧化生成醇、醛、酮是成品绿茶劣变的原因之一。食品的水活性决定各种变质反应的速度,包括脂肪酸的氧化。只有在水分活度达到单分子层吸附的水平时,脂肪分子受到屏蔽,从而达到稳定状态^[16]。吴小崇研究表明,水分主要影响 C18 饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的稳定性。

作者采用酸性乙醚法测定绿茶中脂质含量的变化,以期从中找出在贮存过程中脂质含量随水分活度的变化趋势,结果如图 4 所示。经检测,绿茶样品的脂质含量初始值为 31.4 mg/g。在 25℃ 下贮存四个月,脂质含量最高的为 a_w 在 0.33 左右贮存的绿茶,且在此处呈现的是一个峰值,脂质含量分别向两端水分活度呈递减趋势,而且在低水分活度区域,其脂质含量表现出比高水分活度区域更低的水平。当水分吸附正好达到单分子水层状态时,脂质分子被包裹在单分子水层中,水分子在活性位点附近形成了一个“保护层”,保护它们不与氧气反应。而在低于单分子水层时,活性位点暴露并

与氧气接触,导致反应加速。高水分活度区域,水分子起到增塑作用促进脂质分子的流动,使基团分子膨胀进而暴露活性位点,加快反应的进行^[16]。

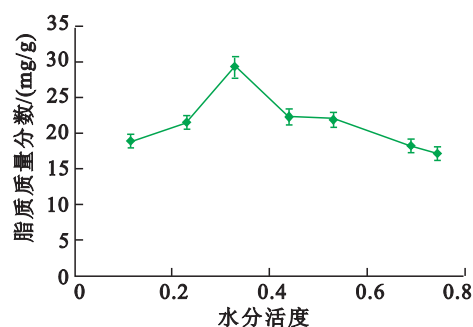


图 4 25℃ 不同水分活度下脂质质量分数的变化
Fig. 4 Lipid contents in green tea stored for 4 months in environmental chambers with a_w 0.113~0.743

3 结 语

综上所述,作者分别选取了反映绿茶色、香、味的几个生化指标来综合评价绿茶的稳定性变化,并以图表的形式阐述了碧螺春茶在不同水分活度下贮存主要生化成分的变化规律。实验结果表明,水分活度对绿茶的稳定性影响较大。在高水分活度区域,绿茶的稳定性显著下降,各生化成分含量迅速降低。在低水分活度区域,碧螺春茶相对稳定,但脂质、咖啡碱、儿茶酚等成分含量的保留值小于 a_w 0.33 处。对于碧螺春绿茶而言,水分活度控制在 0.2~0.3,对应含水量为 3%~6% 之间为最好,碧螺春绿茶在这一水分活度区域内具有最佳稳定性。

参考文献(References):

- [1] 姚江, 胡建程, 谢丰稿. 水分活度对茶叶品质及贮藏过程中品质稳定性作用机理研究[J]. 广东茶业, 1989, 4: 8—41.
YAO Jiang, HU Jian-cheng, XIE Feng-gao. The mechanism research of water activity influence on the quality and reserving stability of tea[J]. **Guang Dong Tea**, 1989, 4: 8—41. (in Chinese)
- [2] 刘永敏. 各级茶叶表面吸附的物理量计算[J]. 茶叶科学简报, 1990, 2: 32—35.
LIU Yong-min. The calculation of surface adsorptive physics of tea of all levels[J]. **The Brief Report of Tea Science**, 1990, 2: 32—35.
- [3] GB/T8304-2002, 茶 水分测定[S]. 2002.
- [4] GB/T8313-2002, 茶 茶多酚测定[S]. 2002.
- [5] GB/T8314-2002, 茶 游离氨基酸总量测定[S]. 2002.
- [6] GB/T8313-2008, 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S]. 2008.
- [7] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [8] Kaleemullah K, Kailappan R. Monolayer moisture, free energy change and fractionation of bound water of red chillies [J]. **Journal of Stored Products Research**, 2007, 43: 104—110.
- [9] 姚江, 胡建程, 谢丰稿. 茶叶水分活度测定及与之有关物理常数研究[J]. 福建茶叶, 1989, 2: 27—29.
YAO Jiang, HU Jian-cheng, XIE Feng-gao. The mensuration of water activity of tea and research on physics relative[J]. **Fujian Tea**, 1989, 2: 27—29.
- [10] Hitoshi yoshitomi. Equilibrium moisture content of tea leaves and stems for tea manufacture [J]. 茶業研究報告(日本), 1985, 61: 26—35.
- [11] 阮逸明, 吴振鐸, JuanI-Ming. 茶葉吸濕性及其水份安全含量簡易呈色檢定法之研究[J]. 食品科學(台灣), 1976(6): 1—7.
RUAN Yi-ming, WU Zhen-du, JuanI-Ming. The research on the simple mensuration of the moisture absorption and the safe water content of tea[J]. **The report of tea research(Taiwan)**, 1976(6): 1—7.
- [12] 丁晓芳. 贮存过程中温度含水量对茶叶品质的影响[J]. 茶业通报, 1992, 2: 26—30.
DING Xiao-fang. The influences of temperature and water content on tea quality during its storage[J]. **Journal of tea business**, 1992, 2: 26—30.
- [13] Lavelli V, Zanoni B, Zaniboni A. Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots[J]. **Food Chemistry**, 2007, 104: 1705—1711.
- [14] Lajolo M F, Marquez M. Chlorophyll degradation in a spinach system at low and intermediate water activities [J]. **Journal of Food Science**, 1982, 47: 1995—1998.
- [15] 李淑娟. 茶多酚的保健和药理作用[J]. 甘肃农业, 2009, 12: 47—48.
LI Shu-juan. The functional and pharmacological effects of tea polyphenols[J]. **Gansu agriculture**, 2009, 12: 47—48.
- [16] O. R. 菲尼马, 王璋. 食品化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1991.
- [17] 王洪新, 戴军, 张家骊, 吕源玲. 茶叶儿茶素单体的分离纯化及鉴定[J]. 食品与生物技术学报, 2001, 20(2): 117—121.
WANG Hong-xin, DAI Jun, ZHANG Jia-li. Separation, Purification and Identification of Tea Catechins[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2001, 20(2): 117—121.
- [18] Ortiz J. Interaction of Environmental Moisture with Powdered Green Tea Formulations; Effect on Catechin Chemical Stability[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2008, 56: 4068—4077.
- [19] 陆锦时, 谭和平. 绿茶贮藏过程主要品质化学成分的变化特点[J]. 西南农业学报, 1994, 7: 77—81.
LU Jing-shi, TAN He-ping. The changing characteristics of the main chemical ingredients during the storage of green tea [J]. **Southwest China Journal of Agricultural Sciences**, 1994, 7: 77—81.
- [20] Acevedo N C, Schebor C, Buera P. Non-enzymatic browning kinetics analysed through water-solids interactions and water mobility in dehydrated potato [J]. **Food Chemistry**, 2008, 108: 900—906.
- [21] 黄力华. 碧螺春绿茶贮藏期间品质劣变及保鲜技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2005: —30—31.
- [22] 中川致之. 绿茶滋味与化学成分的关系[J]. 茶叶实验场研究报告, 1981, 17: 69—123.
ZHONGCHUAN Zhi-zhi. The relationship of the flavor and chemical ingredients of green tea[J]. **The report of tea research**, 1981, 17: 69—123.