

不同年份白茶的主要生化成分分析

周琼琼¹, 孙威江^{1,2,*}, 叶 艳³, 陈 晓⁴

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002;

2. 福建农林大学安溪茶学院, 福建福州 350002;

3. 福建元泰茶业有限公司, 福建福州 350002;

4. 诸暨市赵家镇人民政府, 浙江诸暨 311800)

摘 要:研究了不同年份白茶的主要生化成分含量。结果表明:白茶在储存过程中,较短年限时,茶叶中茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸、可溶性糖含量降低幅度比较小,变化不大,但储藏时间较长时,均呈下降趋势;白茶中儿茶素组分均以表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)和表儿茶素没食子酸酯(ECG)为主,含量较高,茶叶陈放两年后,儿茶素总量下降的速度显著,陈20年白茶儿茶素组分及其总量含量极少;陈年白茶黄酮含量均比当年白茶的黄酮含量高,陈20年白茶黄酮含量极显著高于其它年份的白茶。

关键词:白茶,储藏年份,生化成分,分析,含量

Study on the main biochemical components of white tea stored at different years

ZHOU Qiong-qiong¹, SUN Wei-jiang^{1,2,*}, YE Yan³, CHEN Xiao⁴

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Anxi Tea College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

3. Fujian Yuantai Tea Ltd, Fuzhou 350002, China;

4. Government of Zhaojia Town of Zhuji City, Zhuji 311800, China)

Abstract: The contents of the main biochemical components of white tea stored at different years were determined and analyzed. Results showed that as the stored time prolonged, the contents of tea polyphenols, caffeine, total amino and soluble sugar showed a slight decrease, which was still falling overall trend. In the different years of white tea, the main components of catechins were EGCG and ECG. After two years' storage, the content of catechins were decreased rapidly, and there had few catechins in the 20 years white tea. The content of flavonoids was increased in the process of the white tea storage, a significant difference of flavonoids content were observed between the 20 years and other years' white tea.

Key words: white tea; storage period; biochemical components; analysis; content

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)09-0351-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.09.068

白茶是我国传统的六大茶类之一,属微发酵茶,创制于中国福建,主产于福鼎、政和、建阳、松溪等地^[1-2]。因制法独特,不炒不揉,成茶外表满披白毫,色泽银白灰绿,故称“白茶”^[1]。白茶内含丰富的儿茶素、茶氨酸、黄酮类化合物等功能成分,受到港、澳地区及东南亚、欧美等国消费者的青睐,被视为珍品,是福建省传统的特种外销茶^[3]。

白茶性味寒凉,是民间常用的降火良药。自古以来就有许多关于白茶尤其是陈年白茶清凉解毒、

治疗养护麻疹患者的记载^[4],白茶的原产地福鼎就有关于白茶“一年茶,三年药,七年宝”的说法,随着白茶贮藏时间的延长,具有比当年白茶更好的保健功效。白茶由于其自然的制作工艺,保留了丰富的活性酶和多酚类物质^[5]等,具有出色的药理和保健作用。通过近多年来国内外学者对白茶的研究,表明白茶在具有调节血脂、预防心脑血管疾病、调节免疫功能、抗辐射、消炎解毒^[6]等方面的药用价值的同时,在抗氧化^[7-9]和抗突变^[10]、降血糖^[11]、抑制癌细胞活性^[12-13]、保护心血管系统^[14]和护肝^[7,15]等方面的效果更具特色。白茶的研究多集中于药理作用,对成品白茶自然贮藏过程中理化成分的变化研究较少。白茶在储藏过程中,其主要生化成分茶多酚、氨基酸、可溶性糖、黄酮类等物质发生了变化,使得陈年白茶的保健效果更好。本文利用分光光度法与高效液相

收稿日期: 2013-12-02 * 通讯联系人

作者简介: 周琼琼(1987-),女,在读博士研究生,主要研究方向:茶树特异性种质资源、茶叶品质检测等。

基金项目: 国家国际科技合作项目(2010DFB33030-4);科技部“十二五”农村领域国家科技支撑计划项目(2011BAD01B02)。

色谱法研究了白茶有效成分中茶多酚、咖啡碱、儿茶素组分及黄酮类等在自然贮存陈化过程中的含量变化,以期陈年白茶具有的保健功效提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

茶样:高级白牡丹、陈1年白牡丹、陈2年白牡丹、陈3年白牡丹、陈4年白牡丹、陈20年老白茶 福建品品香茶业有限公司提供;标准品:表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG,纯度>99%)、表没食子酸儿茶素(EGC,纯度>99%)、表儿茶素(EC,纯度>99%)、儿茶素(C,纯度>99%)、表儿茶素没食子酸酯(ECG,纯度>99%)、咖啡碱(Caffeine,纯度>99%)、没食子酸(GA) 购自美国Sigma公司;乙腈、甲醇 色谱纯,购自德国Merck公司。

Agilent1200 高效液相色谱-二极管阵列检测器 美国安捷伦科技;电子天平 德国赛多利斯 Sartorius 电子天平;SHB-III型循环水式真空泵 郑州长城科工贸有限公司;超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司;离心机 美国 Thermo 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 茶多酚含量测定 采用福林酚(Folin-Ciocalteu)比色法。参照 GB/T 8313-2008。

1.2.2 儿茶素总量及组分、咖啡碱的测定

1.2.2.1 样品的提取 称取0.2g均匀磨碎的茶样,用70%甲醇溶液70℃水浴浸提10min,每隔5min搅拌一次,4000r/min离心10min后吸取上清液并重复操作两次,合并提取液,冷却后定容至10mL,摇匀,过0.45μm膜,待用。

1.2.2.2 HPLC 条件 色谱柱:Zorbax Eclipse XDB-C₁₈,粒径5μm,4.6mm×250mm,柱温35℃;流动相:A:0.2%乙酸水溶液(v/v),B:乙腈;流速1mL/min,进样量10μL,检测波长278nm。梯度洗脱35min,见表1。

表1 高效液相色谱的梯度洗脱条件

Table 1 Gradient elution conditions of high performance liquid chromatography

时间(min)	0	10	25	30	31	35
流动相 A	100	100	68	68	100	100
流动相 B	0	0	32	32	0	0

1.2.3 陈年白茶中游离氨基酸总量测定 采用茚三酮显色法,参照 GB/T 8314-2002。

1.2.4 陈年白茶中可溶性糖含量测定 采用蒽酮比色法^[16]。称取茶叶粉碎样1.00g,加50mL沸水,在沸水浴上浸提0.5h。取出立即过滤,滤渣用沸蒸馏水重复洗涤数次,滤液冷却后定容至500mL,待测。取1mL供试液,加8mL蒽酮试剂,摇匀后置于沸水浴中准确加热3min,立即取出置于冰浴中冷却至室温,于620nm处比色。对照为1mL蒸馏水代替供试液。

1.2.5 陈年白茶中黄酮类总量测定 黄酮类化合物总量测定采用三氯化铝比色法^[17]。

1.2.6 茶叶品质感官审评方法 参照 GB/T 23776-2009。干评外形:嫩度、色泽、条索、匀净度;湿评内质:汤色、香气、滋味、叶底。每种茶样称取3.0g,150mL沸水冲泡,静置5min,同一样品重复3次。

1.3 数据统计与分析

采用 Excel2010 和 DPS 软件进行数据处理及方差分析。

2 结果与讨论

2.1 不同年份白茶茶多酚含量分析

茶多酚是由许多酚类衍生物组成的混合物的总称,是茶叶可溶性物质中含量最多的一种。它对白茶的色、香、味的形成影响极大,是茶叶中最主要的保健作用功能性成分。酚类化合物按其化学结构可分为四类:儿茶素类(黄烷醇类)、花黄素类(黄酮醇类)、酚酸类、花青素类。其中儿茶素是多酚类化合物的主体。

由表2可知,茶多酚随白茶存放年限而变化,高级白牡丹新茶与陈1年白牡丹、陈2年白牡丹、陈3年白牡丹、陈4年白牡丹茶的茶多酚含量差别较小,方差分析结果表明差异不显著;陈20年老白茶茶多酚含量明显减少,与高级白牡丹和陈4年白牡丹茶相比,茶多酚含量分别降低了63.88%、59.47%,差异达到极显著水平。结果说明随着茶叶储藏时间的延长,茶叶中茶多酚的含量降低幅度比较小,变化不大,但储藏时间过长,茶多酚含量减少较多,其原因可能是贮藏过程多酚类物质的非酶性氧化,聚合形成褐色物质,使茶汤色泽加深,滋味退淡^[18],转化为其它物质,含量减少,这与张建勇^[19]的研究结果一致。

2.2 不同年份白茶儿茶素含量及组分分析

茶叶中的儿茶素属于黄烷醇类化合物,是茶叶中多酚类物质的主体成分,同时又是茶叶中具有医疗、保健作用的生理活性物质。

研究结果表明(见表3),不同年份白茶儿茶素组成含量有所不同。但在儿茶素组分中,含量最高的都是EGCG,其次是 ECG,再次为 EGC、EC,最后为 C,五种儿茶素在不同年份白茶中含量的总体趋势一致,即 EGCG > ECG > EGC > EC > C。陈年白茶和新白茶均以 EGCG 和 ECG 为主,即酯型儿茶素比例较高,对于提高白茶保健功效具有很大意义。

白茶中儿茶素与茶多酚的比值可见,高级白牡丹新茶中儿茶素/茶多酚比值最高,而陈20年老白茶中儿茶素保留量较少。

随着贮存时间的延长,陈2年白牡丹中 EGC、EC、EGCG 以及儿茶素总量与高级白牡丹新茶相比,差异均呈极显著水平,ECG 含量差异呈显著水平,儿茶素总量降低了22.0%,而陈1年白牡丹儿茶素总量降低了9.2%,由此可以说明儿茶素组分在茶叶陈放一年后,发生了氧化、聚合或降解,导致儿茶素含量下降。陈放3年、4年的儿茶素总量及组分变化不大,陈放20年儿茶素含量极少,大部分降解或转化为其它物质。

2.3 不同年份白茶中咖啡碱含量测定

表2 不同年份白茶的主要生化成分比较分析

样品	茶多酚(%)	咖啡碱(%)	氨基酸(%)	可溶性糖(%)	黄酮(mg/g)
高级白牡丹	22.70 ^{aA}	4.28 ^{aA}	3.90 ^{aA}	2.74 ^{aA}	5.67 ^{cC}
陈1年白牡丹	21.40 ^{aA}	3.63 ^{cdC}	3.89 ^{aA}	2.76 ^{aAB}	6.94 ^{bBC}
陈2年白牡丹	21.22 ^{aA}	3.93 ^{bB}	3.67 ^{aA}	2.51 ^{bB}	7.65 ^{bB}
陈3年白牡丹	20.23 ^{aA}	3.49 ^{dC}	3.81 ^{aA}	2.70 ^{abAB}	5.95 ^{cBC}
陈4年白牡丹	20.23 ^{aA}	3.70 ^{cC}	3.80 ^{aA}	2.69 ^{abAB}	6.04 ^{bcBC}
陈20年老白茶	8.20 ^{bB}	2.52 ^{dD}	0.32 ^{bB}	1.96 ^{cC}	13.26 ^{aA}

注:不同大写字母表明差异达极显著水平,不同小写字母表明差异达显著水平,表3同。

表3 不同年份白茶儿茶素含量及组分分析

样品	儿茶素(%)						儿茶素/茶多酚
	表没食子酸儿茶素	儿茶素	表儿茶素	表没食子儿茶素没食子酸酯	表儿茶素没食子酸酯	总量	
高级白牡丹	1.3 ^{aA}	<0.1	0.4 ^{aA}	7.1 ^{aA}	2.1 ^{aA}	10.9 ^{aA}	0.48
陈1年白牡丹	1.3 ^{aA}	<0.1	0.3 ^{bAB}	6.4 ^{bB}	1.9 ^{bAB}	9.9 ^{aA}	0.46
陈2年白牡丹	0.8 ^{cC}	<0.1	0.2 ^{cB}	5.7 ^{cC}	1.8 ^{bAB}	8.5 ^{bB}	0.40
陈3年白牡丹	0.9 ^{bcBC}	<0.1	0.2 ^{cB}	5.6 ^{cC}	1.8 ^{bAB}	8.5 ^{bB}	0.42
陈4年白牡丹	1.0 ^{bB}	<0.1	0.2 ^{cB}	5.2 ^{cC}	1.7 ^{bB}	8.2 ^{bB}	0.40
陈20年老白茶	0.0 ^{dD}	<0.1	0.0 ^{dC}	0.2 ^{dD}	0.2 ^{cC}	0.4 ^{cC}	0.05

咖啡碱是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,茶叶咖啡碱含量也常被看作是影响茶叶质量的一个重要因素。

随着储藏年份的变化,咖啡碱含量在各年度间有所波动,但变化范围很小,这与咖啡碱的化学性质有关,咖啡碱系嘌呤碱杂环化合物,具有环状结构而比较稳定,在六大茶类的成分比较中,咖啡碱的含量相对于其他成分较稳定。这与高力^[20]研究的不同年份普洱茶中咖啡碱的变化幅度也比较小的结论一致。

由表2可知,当年白茶咖啡碱含量与陈年白茶相比表现出极显著差异。陈1~4年白茶咖啡碱含量相差不大,变化幅度在3.49%~3.93%,其中陈2年白茶咖啡碱含量较高,达到极显著水平。陈20年白茶由于存储时间较长,咖啡碱含量较低,差异达到极显著水平。

2.4 不同年份白茶中游离氨基酸总量测定

氨基酸是构成白茶鲜爽味和香气的重要成分,例如茶氨酸具有甜鲜滋味和焦糖香,苯丙氨酸具有玫瑰香味,丙氨酸具有花香味,谷氨酸具有鲜爽味。

研究结果表明,储存年份较短时,白茶中氨基酸总量的含量差异不显著,年份较久远时,氨基酸含量极显著下降。高级白牡丹中氨基酸含量是陈20年白茶中氨基酸含量的12倍,其原因可能是氨基酸在茶叶存放过程中会发生转化、聚合或降解,与多酚类的自动氧化产物醌类物质结合形成暗色聚合物,生成色素类物质,造成氨基酸含量下降,因此在茶叶审评时,陈年白茶茶汤颜色呈深黄色,而新白茶茶汤颜色较浅,呈黄白色。氨基酸在氧化降解的同时,茶叶

中部分可溶性蛋白的水解,造成游离氨基酸增加,因此陈3年白茶氨基酸总量高于陈2年白牡丹茶。陈年白茶中氨基酸含量的高低基本上遵循氧化与水解这两者之间反应的总结果。

2.5 不同年份白茶中可溶性糖含量测定

茶叶中的可溶性糖主要是单糖和双糖,是组成茶汤甘甜滋味的最主要物质之一。由表2可知,不同年份白茶中可溶性糖的含量在1.96%~2.76%之间。其中,陈20年老白茶可溶性糖含量最低;当年白茶与陈1年白茶可溶性糖含量差异不显著,与陈2年、陈20年白茶相比差异达到极显著水平;陈2年白茶可溶性糖含量与陈3年、陈4年白茶差异不显著,说明可溶性糖比较稳定,不易发生转化。

2.6 不同年份白茶中黄酮类总量测定

黄酮类物质是多酚的中重要组分,主要是黄酮醇及苷类,约占茶叶干物的3%~4%^[21],对茶叶感官品质、生理功能等起重要作用。

由表2可知,陈年白茶黄酮含量都比当年白茶黄酮含量高,陈20年白茶黄酮含量极显著高于其它年份的白茶,达到13.26mg/g,是当年新白茶的2.34倍。陈20年老白茶中茶多酚、儿茶素总量及组分、咖啡碱、氨基酸等生化成分含量均很低,而黄酮类总量却很高,其原因可能是茶叶在贮藏过程中多酚类物质结构发生了转化,促进了黄酮类物质的形成。

黄酮类化合物是具有较强的抗氧化作用和清除自由基的能力^[22],还具有抗菌、抗病毒、抗肿瘤和降血脂等多种生物活性^[23],是茶叶发挥保健作用的重要功能成分。陈年白茶中黄酮类含量较新茶中高,这为民间俗语“一年茶,三年药,七年宝”的说法提供了科学依据与理论支撑。

2.7 感官审评

表4 不同年份白茶感官审评品质比较

Table 4 Sensory evaluation comparison of white tea from different years

样品	外形				内质				得分
	嫩度	色泽	条索	匀净度	香气	滋味	汤色	叶底	
高级白牡丹	毫心较显尚壮	灰绿尚润	芽叶连枝尚匀整	较洁净	略带毫香	醇厚	尚黄明亮	嫩黄尚匀齐	86
陈1年白牡丹	毫心尚显叶张尚嫩	灰绿	芽叶部分连枝、叶缘垂卷	含少量黄绿片	醇正	尚醇爽	浅黄偏深	毫心叶张尚嫩、稍有红张	86
陈2年白牡丹	毫心尚显叶张尚嫩	灰绿	芽叶部分连枝、尚匀	含少量黄绿片	略有陈香	尚醇厚	橙黄略暗	毫心叶张尚嫩、稍有红张	84
陈3年白牡丹	毫心尚显叶张尚嫩	灰绿略暗	芽叶部分连枝、较匀	含少量黄绿片	陈香稍显	纯正	黄色	叶张尚软、稍有红张	81
陈4年白牡丹	毫心尚显叶张尚嫩	灰绿	芽叶部分连枝、欠匀	含少量黄绿片	陈香	纯正	橙黄略暗	叶张尚软、稍有红张	79
陈20年老白茶	粗片	红片	破张	带梗	陈香显	尚醇和	橙黄偏暗	叶片暗褐	76

感官审评结果表明:不同贮藏年份普洱茶的香气、滋味和汤色方面有明显差异。3年、4年和20年的陈年白茶陈香明显,滋味醇厚。如表4所示。

3 结论

以往对白茶的研究多集中于加工工艺的探讨^[24-25]、药理作用的研究^[26-27],缺少对陈年白茶理化性质的分析。本文通过分析比较不同年份白茶的主要生化成分,发现白茶在储存过程中,较短年限时,茶叶中茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸、可溶性糖含量降低幅度比较小,变化不大,但储藏时间较长时,均呈下降趋势。儿茶素组分含量在茶叶陈放两年后,下降的速度十分显著,之后几年变化不大,陈20年的白茶儿茶素组分及其总量含量极少,大部分降解或转化为其它物质。而陈年白茶中黄酮含量均比当年白茶黄酮含量高,陈20年白茶黄酮含量极显著高于其它年份的白茶,是当年新白茶的2.34倍,陈年白茶中含有较高的黄酮成分为老白茶具有比当年白茶更好的保健功效提供了科学依据与理论支撑。

参考文献

[1] 袁弟顺.中国白茶[M].厦门:厦门大学出版社,2006.
[2] 袁弟顺,郑金贵.白茶的研究进展[J].福建茶叶,2007(2):2-4.
[3] 叶乃兴.白茶科学·技术与市场[M].北京:中国农业出版社,2010.
[4] 卢秋华.福建白茶的历史、现状及其营销战略研究[D].福州:福建农林大学,2008.
[5] 罗永此.柚子皮茶和白茶香气成分的研究[D].杭州:浙江大学,2006.
[6] 李凤娟.白茶的滋味、香气和加工工艺研究[D].杭州:浙江大学,2012.
[7] 林秀菁.研究白茶提取物的抗氧化及肝保护作用[J].中国民族民间医药,2009(14):4.
[8] Koutelidakis A E, Argiri K, Serafini M, et al. Green tea, white tea, and Pelargonium purpureum increase the antioxidant capacity

of plasma and some organs in mice[J]. Nutrition, 2009, 25(4): 453-458.

[9] Unachukwu U J, Ahmed S, Kavalier A, et al. White and green teas (Camellia sinensis var. sinensis): variation in phenolic, methylxanthine, and antioxidant profiles[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(6): C541-C548.

[10] 王刚, 赵欣. 两种白茶的抗突变和体外抗癌效果[J]. 食品科学, 2009, 30(11): 243-245.

[11] Islam M. Effects of the aqueous extract of white tea (Camellia sinensis) in a streptozotocin-induced diabetes model of rats[J]. Phytomedicine, 2011, 19(1): 25-31.

[12] Orner G A, Dashwood W M, Blum C A, et al. Suppression of tumorigenesis in the Apcmin mouse: down-regulation of β -catenin signaling by a combination of tea plus sulindac[J]. Carcinogenesis, 2003, 24(2): 263-267.

[13] Mao J T, Nie W X, Tsu I H, et al. White tea extract induces apoptosis in non-small cell lung cancer cells: the role of peroxisome proliferator-activated receptor- γ and 15-Lipoxygenases[J]. Cancer Prevention Research, 2010, 3(9): 1132-1140.

[14] 陈玉春, 王碧英. 白茶对小鼠血清红细胞生成素水平的影响[J]. 茶叶科学, 1998, 18(1): 159-160.

[15] 袁弟顺, 林丽明, 杨志坚, 等. 烘干温度对白茶护肝作用效果影响研究[J]. 中国茶叶, 2009, 31(1): 16-18.

[16] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.

[17] 中国农业科学院茶叶研究所. 茶树生理及茶叶生化实验手册[M]. 北京: 农业出版社, 1983.

[18] 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.

[19] 张建勇, 江和源, 崔宏春, 等. 白牡丹茶的主要生化成分分析[J]. 食品科技, 2011, 36(1): 52-55.

[20] 高力, 刘通讯. 不同年份普洱茶儿茶素等组成及含量变化研究[J]. 食品工业, 2013(8): 175-178.

[21] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.

(下转第359页)

on hydrogen production from cheese whey[J].J Biotechnol,2005, 120(4):402-409.

[26] Yang P, Zhang R, McGarvey JA, et al. Biohydrogen production from cheese processing wastewater by anaerobic fermentation using mixed microbial communities [J]. Int J Hydrogen Energy, 2007, 32(18):4761-4771.

[27] Azbar N, Dokgöz FTÇ, Keskin T, et al. Continuous fermentative hydrogen production from cheese whey wastewater under thermophilic anaerobic conditions [J]. Int J Hydrogen Energy, 2009, 34(17):7441-7447.

[28] Rosales-Colunga LM, Razo-Flores E, Ordoñez LG, et al. Hydrogen production by *Escherichia coli* $\Delta hycA \Delta lacI$ using cheese whey as substrate [J]. Int J Hydrogen Energy, 2010, 35(2):491-499.

[29] Castelló E, Santos CG, Iglesias T, et al. Feasibility of biohydrogen production from cheese whey using a UASB reactor: links between microbial community and reactor performance [J]. Int J Hydrogen Energy, 2009, 34(14):5674-5682.

[30] Tango MSA, Ghaly AE. Effect of temperature on lactic acid production from cheese whey using *Lactobacillus helveticus* under batch conditions [J]. Biomass Bioenerg, 1999, 16(1):61-78.

[31] González MI, Álvarez S, Riera F, et al. Economic evaluation of an integrated process for lactic acid production from ultrafiltered whey [J]. J Food Eng, 2007, 80(2):553-561.

[32] Schepers AW, Thibault J, Lacroix C. Continuous lactic acid production in whey permeate/yeast extract medium with

immobilized *Lactobacillus helveticus* in a two-stage process: model and experiments [J]. Enzyme Microb Technol, 2006, 38(3-4):324-337.

[33] Vasala A, Panula J, Neubauer P. Efficient lactic acid production from high salt containing dairy by-products by *Lactobacillus salivarius* ssp. *Salicinius* with pre-treatment by proteolytic microorganisms [J]. J Biotechnol, 2005, 117(4):421-431.

[34] Pescuma M, Hébert EM, Mozzi F, et al. Whey fermentation by thermophilic lactic acid bacteria: evolution of carbohydrates and protein content [J]. Food Microbiol, 2008, 25(3):442-451.

[35] Panesar PS, Kennedy JF, Gandhi DN, et al. Bioutilisation of whey for lactic acid production [J]. Food Chem, 2007, 105(1):1-14.

[36] Plessas S, Bosnea L, Psarianos C, et al. Short communication: lactic acid production by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Lactobacillus helveticus* [J]. Bioresour Technol, 2008, 99(13):5951-5955.

[37] Pauli T, Fitzpatrick JJ. Malt combining nuts as a nutrient supplement to whey permeate for producing lactic by fermentation with *Lactobacillus casei* [J]. Process Biochem, 2006, 38(1):1-6.

[38] Siso MIG. The biotechnological utilization of cheese whey: a review [J]. Bioresour Technol, 1996, 57(1):1-11.

[39] Gekas V, López-Leiva M. Hydrolysis of lactose: a literature review [J]. Process Biochem, 1985, 20(1):2-12.

(上接第 328 页)

UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits [J]. Food Chemistry, 2007, 105(3):1151-1158.

[17] Shin Liu R H, Nock J F. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(3):349-357.

[18] 张燕, 方力, 李天飞, 等. 钙对烟草叶片热激忍耐和活性氧代谢的影响 [J]. 植物学通报, 2002, 19(6):721-726.

(上接第 354 页)

版社, 2003.

[22] 钟兴刚, 刘淑娟, 李维, 等. 茶叶中黄酮类化合物对羟自由基清除实现抗氧化功能研究 [J]. 茶叶通讯, 2009, 36(4):17-18.

[23] 蔡建秀, 周海水, 周天送. 酸藤子总黄酮含量的测定及其有效成分薄层分析 [J]. 国土与自然资源研究, 2006(2):87-88.

[24] 陈济斌, 金心怡, 郝志龙, 等. 节能日光萎凋设施及其对

[19] 安建中, 张慙, 郭杰, 等. 6-苄氨基嘌呤对气调包装芦笋贮藏的影响 [J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3):10-13.

[20] 王利斌, 姜丽, 石韵, 等. 气调贮藏对四季豆生理生化特性的影响 [J]. 食品科学, 2013, 34(8):289-293.

[21] Aguirre J, Frias J M, Barry-ryan C, et al. Assessing the effect of product variability on the management of the quality of mushrooms [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49:247-254.

白茶萎凋效果研究 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(19):171-177.

[25] 郭丽, 蔡良绥, 林智. 中国白茶的标准化合萎凋工艺研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(2):382-385.

[26] 崔宏春, 余继忠, 周铁峰, 等. 白茶主要生化成分比较及药理功效研究讲展 [J]. 食品工业科技, 2011(4):405-408.

[27] 王春燕. 白茶的风味及抗氧化性的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2010.