焙烤过程对红茶面包淀粉消化特性的影响及其机理研究

童大鹏， 朱科学， 郭晓娜， 彭 伟， 周惠明*
(江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122)

摘要：研究了焙烤过程对红茶面包淀粉消化特性的影响，并通过茶多酚 HPLC 分析、茶色素含量测定及酶活抑制实验，对其机理进行了探究。结果表明：在不同焙烤条件下，红茶面包的淀粉消化特性不同，当焙烤条件设定为 190 ℃、15 min 时，其葡萄糖释放速率最为缓慢；经焙烤之后，红茶中的儿茶素含量未发生明显变化，茶黄素、茶红素、茶褐素含量均降低，但低极性茶多酚含量增加；红茶经焙烤后，其水提物对 α-淀粉酶活力和 α-葡萄糖苷酶活力的抑制效果均增强。低极性茶多酚的生成受焙烤过程的影响，其对淀粉消化酶的抑制显著，进而降低红茶面包的淀粉消化速率，因而，焙烤条件是开发低血糖生成指数(GI)焙烤食品的关键因素。

关键词：焙烤条件；淀粉消化；茶多酚；α-淀粉酶；α-葡萄糖苷酶
中图分类号：TS 213.2 **文章编号**：1673-1689(2019)05-0051-07 **DOI**：10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.05.008

Influence Mechanism of Baking Process on the Starch Digestion of Black Tea Bread

TONG Dapeng， *ZHU Kexue*， *GUO Xiaona*， *PENG Wei*， *ZHOU Huiming**
(School of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi 214122，China)

Abstract：The effect of baking process on starch digestion of black tea bread was studied in this paper. Starch digestion curves showed that the rates of glucose release of black tea bread were different under different baking conditions. The rate of starch digestion was slowest when baking conditions were set at 190 ℃ and 15 min. This paper further studied the mechanism of this phenomenon by using HPLC analysis of tea polyphenols，the detection of tea pigments content，and α-amylase and α-glucosidase activity assays. There were no obvious changes for catechins，but the content of theaflavins，thearubigins，and theabrownins all decreased while the content of tea polyphenols with low polarity increased during baking. Baking process increased the inhibition of black tea on the activity of both α-amylase and α-glucosidase. The difference of starch digestibility of black tea bread may be due to the difference of the content of low polar tea polyphenols under

收稿日期：2016-11-14
基金项目：国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD36B06)。
* **通信作者**：周惠明(1957—)，男，博士，教授，主要从事方便主食食品品质改良研究。E-mail：hmzhou@jiangnan.edu.cn
引用本文：童大鹏，朱科学，郭晓娜，等. 焙烤过程对红茶面包淀粉消化特性的影响及其机理研究[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(05)：51-57.

different baking conditions. Therefore it is crucial to choose optimal baking condition to the develop bakery tea foods with low glycemic index(GI) value.
Keywords: baking conditions, starch digestion, tea polyphenols, α-amylase, α-glucosidase

面制品中碳水化合物含量高，淀粉糊化充分，致使人体血糖应答快速和血糖峰值高，是易诱发2型糖尿病的原因之一[1-2]。因而，如何降低主食面制品的淀粉消化率，是当前的研究热点。

研究表明：面粉的粒径大小、加水量及焙烤条件，都会影响面包的淀粉消化特性[3-4]；添加富含多酚物质或膳食纤维的天然原料，也可以降低淀粉消化速率[5-6]。已有研究证实，茶多酚对α-淀粉酶和葡萄糖苷酶有很强的抑制作用，能显著延缓面包引起的人体血糖应答[7]，其中茶色素的抑制效果强于儿茶素[8]。膳食纤维则是通过阻碍葡萄糖释放、抑制淀粉消化酶活力等途径，对人体血糖应答起到调控作用[9]。茶粉中茶多酚和茶纤维含量丰富，并且具有多种生理功效[10]，对人体大有裨益，因而开发低GI的茶粉面包前景广阔。

然而，茶多酚在高温环境中，易发生氧化、聚合、异构化、裂解等反应，且在不同的温度下，发生的变化不同[11]。同时，不同的焙烤条件下，淀粉的糊化状态以及在冷却后的老化程度不同，因而会对面包的淀粉消化特性产生影响[4]。因而，茶面包的淀粉消化速率会受到焙烤条件的影响，这对低GI(血糖生成指数)全茶粉焙烤食品的开发影响巨大，但未见相关文献报道，具体机制不明。作者研究了焙烤条件对红茶面包淀粉消化特性的影响，并对该影响机制进行了初步研究，以期为低GI茶面包的工业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

红茶：杭州茶叶研究所提供；小麦淀粉、高筋粉、酵母、绵白糖、起酥油、食盐、脱脂奶粉：α-淀粉酶(≥50 u/mg，1008001)、α-葡萄糖苷酶(≥120 u/mg，10113)，乙腈(HPLC级)、ρNPG(AR级)：Sigma公司产品；磷酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化钠、无水甲醇、甲酸、磷酸、3,5-二硝基水杨酸(DNS)：国药化学试剂有限公司产品。

1.2 仪器与设备

小型和面机：5K5SS型，美国Kitchen Aid公司产品；醒发箱：SM-40SP型，新麦机械(无锡)有限公司产品；电烤箱：SK-621型，新麦机械(无锡)有限公司产品；高效液相仪：LC-20AT型，日本岛津公司产品；色谱柱：Agilent ZORBAX SB-C18型，安捷伦科技(中国)有限公司产品；Epoch2微孔板分光光度计：美国伯腾仪器有限公司产品；旋转蒸发器：R-501型，上海申顺生物科技有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 红茶面包的制作 红茶面包的制作参照《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质实验 直接发酵法》GB/T 14611-2008方法进行。红茶面包配方(质量分数，%)为：面粉100，红茶粉4，酵母1，绵白糖10，起酥油6，食盐0.8，脱脂奶粉4。焙烤条件为：焙烤温度设为190 ℃，焙烤时间分别设为13、15、20、25 min；焙烤时间设为15 min，焙烤温度分别设为170、180、190、200、210 ℃。面包于室温冷却2 h，供淀粉体外消化测定使用；将红茶面包冻干并研磨，过60目筛，供红茶面包中茶多酚分析使用。

1.3.2 体外淀粉模拟消化 采用Yousif等[12]的方法，略有改动。取面包瓤、绞碎，称取0.5 g于50 mL螺口试管中，加1 mL猪胰α-淀粉酶液(50 u/mL，0.2 mol/L pH=7.0磷酸缓冲液)反应15 s，用于模拟口腔消化。加5 mL胃蛋白酶(4 mg/mL，0.02 mol/L HCl)，于37 ℃水浴，130 r/min搅拌30 min，用于模拟胃消化。加5 mL 0.02 mol/L NaOH溶液中和酸液，再加入25 mL磷酸缓冲液(0.2 mol/L pH=6.0)。之后，加5 mL混合酶液(猪胰α-淀粉酶2 mg/mL、α-葡萄糖苷酶28 u/mL，0.2 mol/L pH=6.0磷酸缓冲液)，用以模拟肠道消化，分别在0、20、65、90、120 min，取0.5 mL消化液于5 mL试管中，加2 mL无水乙醇溶液，4 000 r/min，离心10 min，取上清液。采用DNS法[13]，测定葡萄糖含量。

1.3.3 红茶水提物的制备 红茶水提物的制备，参照Amra等[14]的方法。称取红茶粉10.00 g，加沸水

400 mL,于沸水浴浸提 10 min,并不断搅拌。4 500 r/min、15 min 离心。再重复浸提 2 次,合并全部上清液,于 50 ℃旋蒸,冻干,得到红茶水提物样品。称红茶粉 10.00 g,加去离子水 60 mL,上下火均设定为 190 ℃,焙烤 15 min,加入沸水 400 mL 开始对茶多酚进行浸提,其余操作同上,得到焙烤红茶的水提物样品。

1.3.4 茶多酚 HPLC 分析 分别配置 1 mg/mL 红茶水提物、1 mg/mL 焙烤红茶水提物,过 0.22 μm 膜,待用。取冻干红茶面包粉 0.3 g,按照 2.3.2 所述方法进行体外消化实验,取 120 min 的消化液 14.85 mL,加无水甲醇 35 mL 及甲酸 0.15 mL,于 70 ℃搅拌 45 min,4 500 r/min 离心 15 min,取上清液,过 0.22 μm 膜,待用[7]。HPLC 分析条件:岛津 CBM-20A 高效液相色谱仪,岛津 SPD-20A 紫外检测器;色谱柱为 Agilent ZORBAX SB-C18 80A (4.6 mm×250 mm,5 μm);流动相 A 为质量分数 0.1%的磷酸水溶液,流动相 B 为纯乙腈溶液;流动相 B 的线性变化梯度 0~7.5 min 为 10%~15%,7.5 min~20 min 为 15%~27%,20 min~30 min 为 27%~40%,30 min~32 min 为 40%~40%,32 min~34 min 为 40%~10%,后运行 6 min;流速为 1.0 mL/min;进样体积 20 μL;检测波长 278 nm。

1.3.5 茶色素质量分数测定 采用萃取比色法测定红茶以及焙烤红茶中茶色素的质量分数[15]。重复 3 次测定操作,实验结果取 3 次平均值。

1.3.6 α-淀粉酶酶活抑制实验 预先配置 5 mg/mL 小麦淀粉液,溶于磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L pH=6.0 PBS,6 mmol/L NaCl,下同)中,煮沸 1 min,冷却至室温,待用。取 200 μL 0.04 mg/mL α-淀粉酶液,加入到 200 μL 不同质量浓度的红茶水提物中,于 37 ℃搅拌反应 10 min。加 600 μL 上述小麦淀粉溶液,于 37 ℃反应 10 min,加入 1 mL DNS 溶液,煮沸 5 min,定容到 10 mL,于 540 nm 下测定吸光值。对照组为用磷酸缓冲液替代红茶水提物,其余操作同上。抑制率计算公式见式(1)。实验重复 3 次,抑制率取 3 次结果平均值。以红茶水提物质量浓度为横坐标,以对应的抑制率为纵坐标,制得红茶水提物对 α-淀粉酶酶活的抑制曲线。将上述实验中的红茶水提物替换成焙烤红茶的水提物,其余操作同上,得到焙烤红茶水提物对 α-淀粉酶酶活的抑制曲线。

$$抑制率(\%)=\frac{(A_{对照}-A_{实验})}{A_{对照}}\times 100\% \quad (1)$$

1.3.7 α-葡萄糖苷酶酶活抑制实验 取 100 μL 1.1 mg/mL α-葡萄糖苷酶液,加 100 μL 不同质量浓度的红茶水提液,于 37 ℃搅拌反应 10 min。加 600 μL 12.5 mmol/L ρNPG 置于 37 ℃反应 15 min,加 400 μL 1 mol/L Na_2CO_3 于 400 nm 下测定吸光值。对照组为用磷酸缓冲液替代红茶水提物,其余操作同上。抑制率计算公式见式(1)。实验重复 3 次,抑制率取 3 次结果平均值。以红茶水提物质量浓度为横坐标,以对应的抑制率为纵坐标,制得红茶水提物对 α-葡萄糖苷酶酶活的抑制曲线。将上述实验中的红茶水提物替换成焙烤红茶的水提物,其余操作同上,得到焙烤红茶水提物对 α-葡萄糖苷酶酶活的抑制曲线。

1.3.8 数据分析方法 所有数据均来自至少 3 次的试验结果的平均值;采用 SPSS 17.0 对所得数据进行方差分析和显著性分析;采用 Origin 8.5 对数据进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 焙烤温度与焙烤时间对红茶面包消化特性的影响

淀粉老化程度越大,其越不易被消化水解,经不同焙烤条件焙烤后,在冷却阶段面包老化程度不一,因而焙烤条件会对面包的淀粉消化特性产生影响。从图 1(a)中可以发现,当焙烤温度固定在 15 min 时,在一定的焙烤温度范围内(170~210 ℃),面包的消化特性差异不大。这可能是因为本实验焙烤时间并不长,在不同的焙烤温度下,面包水分散失差异不大。图 1(b)结果表明,随着焙烤时间的增长,面包的消化速率逐渐降低,这与 Kale 等[4]的研究结果一致。

进一步研究了不同焙烤条件下。红茶面包的淀粉消化特性。红茶中的茶多酚和茶纤维,是调控面包血糖应答的主要成分[8-9]。由图 2(a)可知,在焙烤时间设定为 15 min 下,随着焙烤温度的增加,红茶面包的葡萄糖释放速率层现先降低后增加的趋势。当焙烤温度设定为 190 ℃时,红茶面包葡萄糖释放最缓慢。结合图 1(a)的结果,可以说明在不同焙烤温度下,茶面包消化特性的差异,并非来自于淀粉的老化程度。在焙烤高温下,红茶中对淀粉消化酶

活力起到抑制作用的儿茶素和茶色素容易发生氧化、聚合、降解及异构化等反应[16],并且在不同的温度下所发生的变化不同[11,17]。因此,焙烤温度对红茶面包淀粉消化速率的影响,可能与红茶粉中的某些成分发生的化学变化有关。图 2(b)显示,在焙烤温度设定为 190 ℃时,随着焙烤时间的增加,红茶面包葡萄糖释放速率虽存在差异,但未层现规律性变化。但图 1(b)显示:空白面包的淀粉消化速率随着焙烤时间的增长而降低。这说明,在不同焙烤温度下,红茶面包淀粉降解速率的差异,可能是受面包中回生淀粉含量的差异,以及红茶组分变化的差异共同影响。

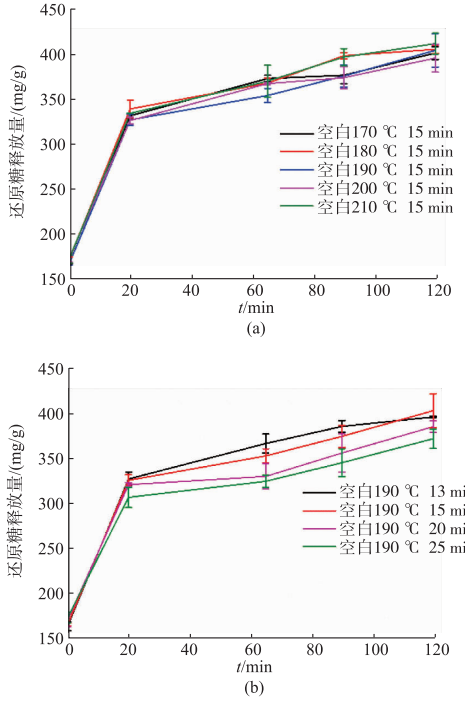
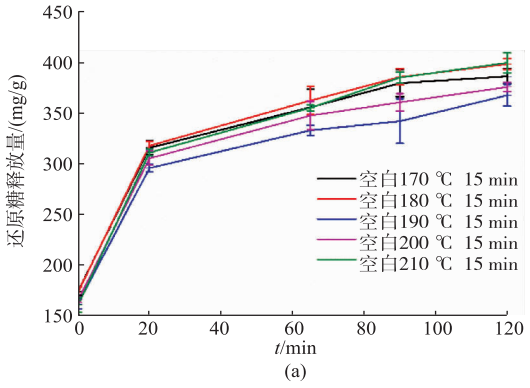


图 1　不同焙烤温度与焙烤时间下，空白面包的体外淀粉消化曲线

Fig. 1　Starch digestion curves of bread under different baking temperature and baking time



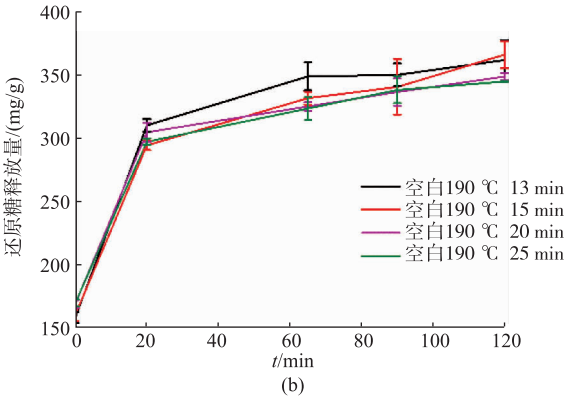


图 2　不同焙烤温度与焙烤时间下，红茶面包的体外淀粉消化曲线

Fig. 2　Starch digestion curves of black tea bread under different baking temperature and baking time

作者主要从红茶组分变化这一方面,探讨焙烤条件对红茶面包的淀粉消化特性的影响及其机制。表 2 和表 3 给出了在不同焙烤条件下,在肠道模拟消化 20 min 和 120 min 时,红茶对面包葡萄糖释放的抑制率。表 1 的结果表明,当焙烤时间固定为 15 min 时,红茶对面包葡萄糖释放的抑制率,层现先升高后降低的趋势，且当焙烤温度设定为 190 ℃时,抑制效果最强（20 min 与 120 min 降低率分别为(9.52±1.16)%、(10.70±0.42)%)。表 2 的结果表明,当焙烤温度固定为 190 ℃时,红茶对面包葡萄糖释放的抑制率,同样层现先升高后降低的趋势,当焙烤时间设定为 15 min 时,抑制效果最强。因此,结合上述实验结果可以得出结论:焙烤条件影响红茶组分的变化,进而对茶面包的消化特性产生影响。然而茶纤维对热稳定,不易发生破坏,因此红茶中茶多酚的变化是影响茶面包消化特性的主要因素。

表 1　不同焙烤温度下,红茶对面包葡萄糖释放的抑制率

Table 1　Inhibition ratio of black tea against the glucose release of black tea bread under different baking temperature

焙烤条件	抑制率/%	
	20 min	120 min
170 ℃ 15 min	5.94±1.12^{b}	3.77±1.86^{bc}
180 ℃ 15 min	6.30±1.35^{b}	2.55±0.07^{cd}
190 ℃ 15 min	9.52±1.16^{a}	10.70±0.42^{a}
200 ℃ 15 min	7.17±2.17^{b}	5.05±0.81^{b}
210 ℃ 15 min	6.97±1.03^{b}	1.63±0.71^{d}

注:同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)

表 2　不同焙烤时间下,红茶对面包葡萄糖释放的抑制率

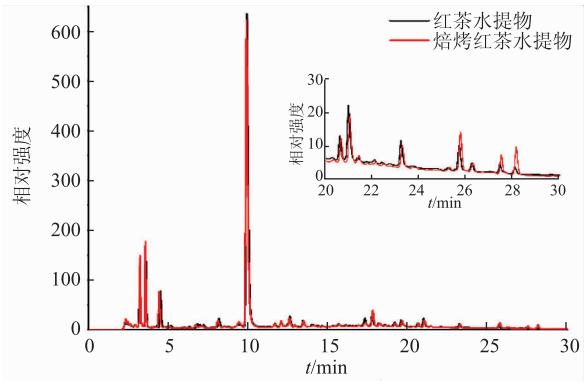
Table 2　Inhibition ratio of black tea against the glucose release of black tea bread under different baking time

焙烤条件	抑制率/%	
	20 min	120 min
190 ℃ 13 min	6.00±1.52^{b}	6.43±1.81^{b}
190 ℃ 15 min	9.52±1.16^{a}	10.70±0.42^{a}
190 ℃ 20 min	3.72±1.31^{c}	9.44±0.50^{a}
190 ℃ 25 min	3.01±0.79^{c}	7.21±0.09^{b}

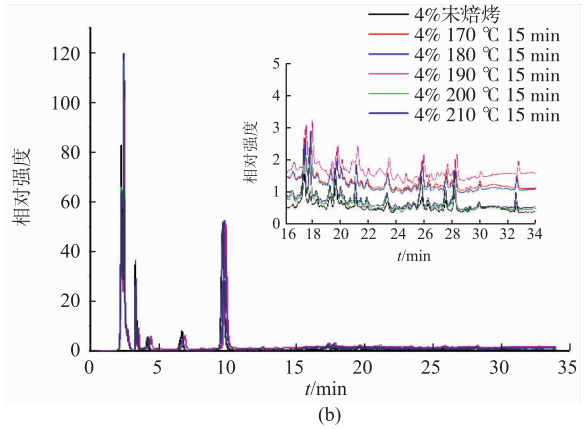
注:同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)

2.2　不同焙烤温度与焙烤时间下,红茶面包水提物茶多酚的变化

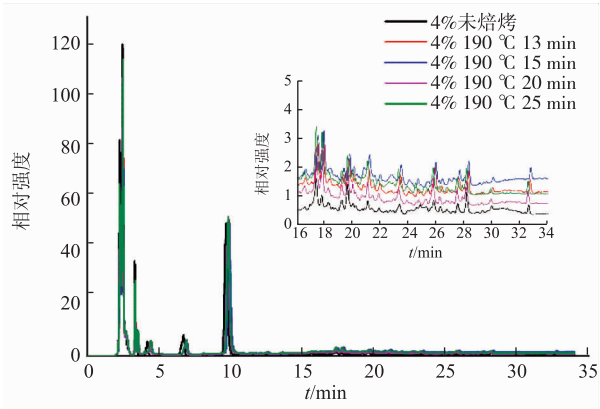
在高温环境中,红茶茶多酚不稳定,易发生降解、氧化及聚合等反应。图 2(a)显示,经过 190 ℃、15 min 焙烤,红茶茶多酚中高极性成分(出峰时间少于 15 min)变化不大,但低极性茶多酚(出峰时间超过 15 min)含量有所增加。有报道称,高温焙烤环境可诱导儿茶素聚合体以及焦倍酸的生成,大大提高了多酚的抗氧化性[18]。但是图 3(a)表明,焙烤前后,儿茶素单体峰(出峰时间少于 15 min)并未发生明显变化,因此,焙烤过程中生成的高极性茶多酚并非来自儿茶素的氧化聚合。



(a)



(b)



(c)

图 3　焙烤前后红茶茶多酚的变化

Fig. 3　Changes of black tea polyphenols during baking

作者进一步测定了在不同焙烤条件下,冻干红茶面包中茶多酚的变化,见图 3(b)、(c)。图 3(b)结果显示,与未经过焙烤处理的空白面包相比,当焙烤温度固定为 15 min 时,焙烤红茶面包中低极性茶多酚均有所增加;随着焙烤温度的提高,低极性茶多酚的增加量层现先增加后降低的趋势, 其在190 ℃焙烤下其增加量达到最大。这种趋势与表 2 中红茶对面包葡萄糖释放抑制率的变化趋势有着明显的对应关系,可以推测低极性茶多酚含量的高低与红茶面包消化速率有可能存在负相关。同样,在不同焙烤时间下,图 3(c)中低极性茶多酚含量的变化趋势与表 3 中红茶对面包葡萄糖释放抑制率的变化趋势也存在明显的对应关系。

2.3　焙烤前后红茶茶色素质量分数变化

红茶中的茶多酚主要由儿茶素和茶色素组成。茶色素是在红茶发酵过程中,由儿茶素氧化聚合形成的高聚体,包括茶黄素、茶红素及茶褐素,它们对α-淀粉酶和葡萄糖苷酶有着很强的抑制作用。2.2 的结果显示,在焙烤处理过程中,儿茶素变化不大,因此进一步对茶色素的质量分数进行了检测。从表 3 的结果可以看出,焙烤处理使得红茶中茶黄素、茶红素及茶褐素的质量分数均降低,这有可能是因为高温环境使茶色素发生了降解反应,使其结构发生了破坏。可以推测,在焙烤过程中生成的低极性茶多酚,有一部分是来自茶色素的分解,但其具体的生成机制不明,仍需进一步实验进行研究。

表 3　焙烤前后红茶茶色素的变化

Table 3　Changes of black tea pigments during baking

类别	质量分数/%		
	茶黄素	茶红素	茶褐素
未焙烤红茶	0.309±0.010	4.945±0.373	12.456±0.087
焙烤红茶	0.285±0.041	3.191±0.256	7.214±0.274

2.4　焙烤过程对红茶茶多酚抑制淀粉消化酶酶活力的影响

研究表明,焙烤过程中生成的低极性茶多酚含量越高,则红茶面包消化速率越底,两者有可能存在负相关联系。从图 4(a)中可以看出,低质量浓度(低于 0.8 mg/mL) 的红茶水提物提高了 α-淀粉酶活力;当质量浓度高于 0.8 mg/mL 时,随着红茶水提物质量浓度的增加,其对 α-淀粉酶活力的抑制作用增强。经过焙烤之后,红茶水提物对α-淀粉酶活力的抑制作用明显增强,即使在低浓度下,其对 α-淀粉酶活力依然起到抑制作用。茶多酚的酚羟基能够和淀粉酶之间有氢键作用,改变了淀粉酶的空间结构,从而抑制了淀粉酶活力。同时,茶多酚的酚羟基能捕获自由基,终止自由基链式反应,从而达到抗氧化的效果结合,因此茶多酚的抑制淀粉消化酶酶活能力与抗氧化能力存在正相关。热处理使得茶多酚发生了氧化聚合发生,生成的聚合体增强了茶多酚的抗氧化能力,因此,在焙烤之后其抑制淀粉酶活效果应当增强,这与本实验的研究结果一致。可以推测,在焙烤处理过程中,生成的低极性茶多酚更强地抑制 α-淀粉酶活力,故对面包的淀粉消化速率起到更好的抑制效果,但在不同的焙烤条件下,生成的低极性茶多酚含量不一, 因此茶面包的淀粉消化特性存在差异。

从图 4(b)中可以看出,在低质量浓度(低于 4 mg/ml)下,红茶水提物对 α-葡萄糖苷酶活力起到促进作用;当质量浓度高于 5 mg/mL 时,随着红茶水提物浓度的提高,其对 α-葡萄糖苷酶活力的抑制作用增强。然而,红茶经过焙烤之后,即使在低浓度下,其水提物对 α-葡萄糖苷酶活力变现出很好的抑制作用。并且,在各浓度下,焙烤红茶的水提物对 α-葡萄糖苷酶活力的抑制作用均强于未经过焙烤处理的红茶的水提物。因此,焙烤处理增强了红茶茶多酚对 α-葡萄糖苷酶活力的抑制作用, 这与 Kim 等[24]的研究结果相一致。可以推测,在焙烤处理过程中,生成的低极性茶多酚具有很强地抑制 α-葡萄糖苷酶活力,从而对面包的淀粉消化速率起到更好的抑制效果,但在不同的焙烤条件下,生成的低极性茶多酚含量有所差异,因此茶面包的淀粉消化特性存在差异。

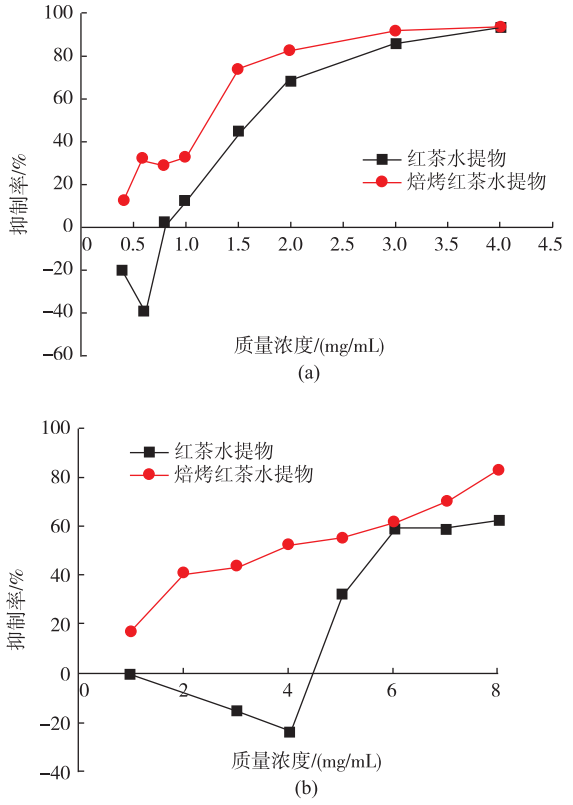


图 4　焙烤过程前后，红茶茶多酚对 α-淀粉酶和 α-葡糖苷酶活力的影响

Fig. 4　Effect of black tea polyphenols with or without baking on the activity of α -amylase and α -glucosidase

3　结　语

面包制作的焙烤过程,提高了红茶中低极性茶多酚的含量, 使得红茶对 α-淀粉酶活力和 α-葡萄糖苷酶活力的抑制作用进一步提高,因而能很好地降低面包的淀粉消化速率。在不同的焙烤条件下,低极性茶多酚的生成量存在差异,因而茶面包的淀粉消化特性不一,将焙烤温度、焙烤时间分别设定为 190 ℃、15 min 为宜。低极性茶多酚的生成,有可能是来自红茶中茶色素的降解,但其中的具体机制仍需进一步研究。焙烤食品的品质受焙烤条件的影响,确定更适合的焙烤条件,同时满足品质良好及低 GI 的要求,仍需要做进一步研究工作。

参考文献:

[1] MIAO M,JIANG B,JIANG H,et al. Interaction mechanism between green tea extract and human alpha-amylase for reducing starch digestion[J]. **Food Chem**,2015,186:20-25.

[2] BORCZAK B,SIKORA E,SIKORA M,et al. Starch digestibility index and antioxidative properties of partially baked wheat-flour bakery with an addition of dietary fibre[J]. **Starch – Stärke**,2015,67(11-12):913-919.

[3] LAU E,SOONG Y Y,ZHOU W,et al. Can bread processing conditions alter glycaemic response?[J]. **Food Chem**,2015,173:250-256.

[4] KALE C K,KOTECHA P M,CHAVAN J K,et al. Effect of processing conditions of bakery products on formation of resistant starch[J]. **J Food Sci Technol**,2002,39(5):520-524.

[5] KIM H J,WHITE P J. Impact of the molecular weight,viscosity,and solubility of beta-glucan on in vitro oat starch digestibility [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2013,61(13):3270-3277.

[6] COOAR C,JIMENEZ T,CONTE P,et al. Impact of ancient cereals,pseudocereals and legumes on starch hydrolysis and antiradical activity of technologically viable blended breads[J]. **Carbohydrate Polymers**,2014,113:149-1458.

[7] GOH R,GAO J,ANANINGSIH V K,et al. Green tea catechins reduced the glycaemic potential of bread:an in vitro digestibility study[J]. **Food Chem**,2015,180(3):203-210.

[8] KOH L W,WONG L L,LOO Y Y,et al. Evaluation of different teas against starch digestibility by mammalian glycosidases[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2010,58(1):148-154.

[9] OU Shiyi,GAO Kongrong,ZHAO Mouming. Mechanism of dietary fiber inhibiting postprandial hyperglycemia [J]. **Food Science**,1998,19(3):48-52.(in Chinese)

[10] YOU Xin. Functions and development of green tea extract [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2010,29(3):321-325.(in Chinese)

[11] TAEYE C D,CIBAKA M L,JERKOVIC V,et al. Degradation of (-)-epicatechin and procyanidin B2 in aqueous and lipidic model systems. first evidence of "chemical" flavan-3-ol oligomers in processed cocoa [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2014,62(36):9002-9016.

[12] YOUSIF A,NHEPERA D,JOHNSON S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility,antioxidant capacity and consumer acceptability[J]. **Food Chem**,2012,134(2):880-887.

[13] 徐燕. 桃胶的制备、性质及其应用研究[D]. 无锡:江南大学,2008:11-13.

[14] AMRA P U,ŠKERGET,KNEZ Ž,et al. Extraction of active ingredients from green tea (Camellia sinensis):Extraction efficiency of major catechins and caffeine[J]. **Food Chemistry**,2006,96(4):597-605.

[15] 陆松侯. 茶叶审评与检验[M]. 第 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.

[16] SHARMA A,ZHOU W. A stability study of green tea catechins during the biscuit making process [J]. **Food Chemistry**,2011,126(2):568-573.

[17] SOLYOM K,SOLA R,COCERO M J,et al. Thermal degradation of grape marc polyphenols [J]. **Food Chem**,2014,159(3):361-366.

[18] KIM T J,SILVA J L,JUNG Y S. Enhanced functional properties of tannic acid after thermal hydrolysis [J]. **Food Chemistry**,2011,126(1):116-120.