

基于中红外光谱的巧克力 油脂结构抗热性研究

杜林楠, 王晓萱, 孟露, 李佳欣, 于宏伟*

(石家庄学院 化工学院, 河北 石家庄 050035)

摘要: 采用中红外(MIR)光谱对德芙巧克力(醇黑巧克力、奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力)结构进行检测,并通过变温中红外光谱分析比较3种巧克力的抗热性。调查结果表明德芙巧克力的红外吸收模式包括11种模式: ν_{asCH_3} -巧克力、 ν_{asCH_2} -巧克力、 ν_{sCH_3} -巧克力、 ν_{sCH_2} -巧克力、 $\nu_{C=O}$ -巧克力、 $\nu_{amide-I}$ -巧克力、 $\nu_{amide-II}$ -巧克力、 δ_{asCH_3} -巧克力、 δ_{sCH_3} -巧克力、 ν_{C-O} -巧克力和 ρ_{CH_2} -巧克力;根据 ρ_{CH_2} -巧克力对热敏感程度的差异,发现醇黑巧克力油脂结构抗热性要优于奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力。该方法为直观快速检测巧克力油脂结构抗热性提供新的参考。

关键词: 巧克力;中红外光谱;变温中红外光谱;油脂结构;抗热性

中图分类号: TS 972.123.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2022)01-0095-06

巧克力是以糖和可可制品为主要原料制成的一种甜食^[1]。油脂结构具有良好的抗热性,使巧克力在较高的温度条件下抵抗物理变形,并保持表面光洁度,避免表面起霜^[2]。不同种类巧克力的油脂结构抗热性存在着一定的差异性^[3]。国外学者较早开展巧克力抗热性的科研工作。ANDERSEN^[4]通过差示扫描量热法从巧克力的熔化曲线中主吸热峰的温度提升程度来判定是否具有抗热性。BEST等^[5]通过一个重力实验,测量前后巧克力的尺寸变化结合复杂公式计算来判断其抗热性。如何快速直观地检测巧克力油脂抗热性,仍是一个难点。

中红外(MIR)光谱具有快捷的优点,广泛应用于食品结构领域中^[6-7]。二阶导数中红外光谱与传统光谱相比,具有精度高、分辨率好、灵敏度高的特点,并能提供更为丰富的红外光谱信息^[8]。本课题组前期采用MIR光谱开展了油脂水解产物硬脂酸的抗热性研究^[9-10],研究发现,硬脂酸抗热性与其特殊的长碳链分子结构有关。亚甲基面内摇摆振动(ρ_{CH_2})的裂分双峰是硬脂酸

长碳链分子的晶体结构特征红外吸收模式,对于温度变化非常敏感。随着测定温度的升高,硬脂酸长碳链分子的晶体结构被破坏, ρ_{CH_2} 裂分双峰则会消失。巧克力油脂结构与硬脂酸结构类似。因此,本研究以德芙巧克力为研究对象,采用MIR光谱检测巧克力油脂结构的抗热性,可以为国内相关企业产品研发提供重要的技术参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

德芙醇黑巧克力(以下简称醇黑巧克力)、德芙奶香白巧克力(以下简称奶香白巧克力)和德芙丝滑牛奶巧克力(以下简称丝滑牛奶巧克力):玛氏食品(中国)有限公司,产地北京市,购于石家庄市桥西区北国超市尚峰店。

1.2 仪器

Spectrum 100型傅里叶红外光谱仪:美国PE公司;Golden Gate型单次内反射ATR-FTIR变温附件:英国Specac公司,变温范围303~393 K,变温步长10 K。

收稿日期:2021-11-17 *通信作者

基金项目:河北省高等学校科学技术研究项目(ZC2021250);河北省应用技术大学研究会课题(JY2021003);石家庄市高等教育科学研究项目(20201006)

作者简介:杜林楠,女,石家庄学院化工学院讲师,主要从事粮食、油脂、膳食营养的理论研究,E-mail:350869859@qq.com;于宏伟,男,石家庄学院化工学院教授,博士,主要从事红外光谱的理论研究,E-mail:yhw0411@163.com。

1.3 实验方法

巧克力 MIR 光谱实验以空气为背景,每次对信号进行 8 次扫描累加。巧克力 MIR 光谱数据的获得采用 Spectrum v 6.3.5 操作软件。

2 结果与分析

2.1 巧克力 MIR 光谱实验

2.1.1 巧克力一维 MIR 光谱实验

采用一维 MIR 光谱开展了 3 种巧克力的结构分析(表 1)。 ν_{asCH_2} -巧克力-一维、 ν_{sCH_2} -巧克力-一维、 $\nu_{C=O}$ -巧克力-一维、 δ_{asCH_3} -巧克力-一维、 δ_{sCH_3} -巧克力-一维 和

ρ_{CH_2} -巧克力-一维是巧克力油脂结构的特征红外吸收模式, $\nu_{amide-I}$ -巧克力-一维和 $\nu_{amide-II}$ -巧克力-一维是巧克力蛋白质结构的特征红外吸收模式,而 $\nu_{C=O}$ -巧克力-一维则是巧克力糖类结构的特征红外吸收模式。由表 1 可知,3 种巧克力的营养成分相同,均含有油脂结构、蛋白质结构及糖类结构。而根据 3 种巧克力的主要官能团的吸光度(红外吸收强度)的实验数据,奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力中糖类的含量要高于醇黑巧克力,而油脂及蛋白质的含量,3 种巧克力中并没有太大的差异性(表 1)。

表 1 巧克力官能团一维 MIR 光谱数据(303 K)

物质结构	红外吸收模式	吸收频率(强度) [cm ⁻¹ (A)]		
		醇黑巧克力	奶香白巧克力	丝滑牛奶巧克力
油脂结构	ν_{asCH_2} -巧克力-一维	2 922. 29(0. 23)	2 922. 79(0. 22)	2 922. 92(0. 21)
	ν_{sCH_2} -巧克力-一维	2 852. 95(0. 16)	2 853. 27(0. 16)	2 853. 26(0. 14)
	$\nu_{C=O}$ -巧克力-一维	1 745. 19(0. 17)	1 745. 41(0. 16)	1 745. 57(0. 14)
	δ_{asCH_3} -巧克力-一维	1 459. 12(0. 11)	1 459. 40(0. 11)	1 459. 05(0. 11)
	δ_{sCH_3} -巧克力-一维	1 374. 86(0. 10)	1 374. 32(0. 10)	1 374. 88(0. 11)
	ρ_{CH_2} -巧克力-一维	721. 25(0. 14)	721. 48(0. 15)	722. 03(0. 18)
蛋白质结构	$\nu_{amide-I}$ -巧克力-一维	1 654. 45(0. 06)	1 653. 20(0. 05)	1 653. 88(0. 06)
	$\nu_{amide-II}$ -巧克力-一维	1 519. 22(0. 05)	1 535. 84(0. 04)	1 535. 59(0. 04)
糖类结构		1 066. 78(0. 32)、	1 066. 19(0. 41)、	1 066. 43(0. 44)、
		1 050. 83(0. 31)、	1 049. 63(0. 40)、	1 050. 82(0. 42)、
	$\nu_{C=O}$ -巧克力-一维	1 038. 30(0. 27)、	1 038. 27(0. 36)、	1 036. 94(0. 41)、
		1 012. 72(0. 24)、	1 012. 82(0. 29)、	1 013. 25(0. 32)、
		1 004. 20(0. 24)	1 004. 22(0. 29)	1 003. 93(0. 32)

2.1.2 巧克力二阶导数 MIR 光谱实验

采用二阶导数 MIR 光谱进一步开展了巧克力结构分析(表 2)。由表 2 实验数据发现:巧克力的二阶导数 MIR 光谱在 2 957 cm⁻¹ (ν_{asCH_3} -巧克力-二阶导数)和 2 873 cm⁻¹ (ν_{sCH_3} -巧克力-二阶导数)频率处发现新的巧克力油脂结构红外吸收峰,二阶导数 MIR 光谱能分出一维 MIR 光谱图中的重叠峰,其谱图分辨能力要优于相应的一维 MIR 光谱。

2.2 巧克力油脂结构 MIR 光谱实验

2.2.1 巧克力油脂结构变温一维 MIR 光谱实验

采用一维 MIR 光谱检测温度变化对于巧克力油脂结构的影响。实验发现:随着测定温度的升高,醇黑巧克力油脂结构 ν_{asCH_2} -醇黑巧克力-一维 (2 922. 29 cm⁻¹)、 ν_{sCH_2} -醇黑巧克力-一维 (2 852. 95 cm⁻¹)

和 $\nu_{C=O}$ -醇黑巧克力-一维 (1 745. 19 cm⁻¹) 对应的吸收频率蓝移, δ_{asCH_3} -醇黑巧克力-一维 (1 459. 12 cm⁻¹) 对应的吸收频率红移,而 δ_{sCH_3} -醇黑巧克力-一维 (1 374. 86 cm⁻¹) 和 ρ_{CH_2} -醇黑巧克力-一维 (721. 25 cm⁻¹) 则分别在 333 和 383 K 温度下消失(表 3)。 ρ_{CH_2} -醇黑巧克力-一维是油脂结构中 CH₂ 晶体的特征红外吸收模式,而过高的温度会进一步破坏 CH₂ 晶体结构^[11-12]。醇黑巧克力主要官能团 (ν_{asCH_2} -醇黑巧克力-一维、 ν_{sCH_2} -醇黑巧克力-一维、 $\nu_{C=O}$ -醇黑巧克力-一维和 δ_{asCH_3} -醇黑巧克力-一维)对应的吸收强度进一步降低。其他 2 种巧克力的光谱信息见表 3。

巧克力油脂 CH₂ 晶体结构 ρ_{CH_2} -巧克力-一维吸收峰是巧克力油脂结构的特征红外吸收模式,由表 3 实验数据发现:醇黑、奶香和丝滑巧克力的 ρ_{CH_2} -巧克力-一维 (在 718 ~ 723 cm⁻¹ 吸收频率之间的

吸收峰)分别在 383、363 和 363 K 时消失。调查 巧克力和丝滑牛奶巧克力。
认为,醇黑巧克力油脂结构抗热性要优于奶香白

表 2 巧克力官能团二阶导数 MIR 光谱数据(303 K)

物质结构	红外吸收模式	吸收频率(强度)[$\text{cm}^{-1}(\text{A})$]		
		醇黑巧克力	奶香白巧克力	丝滑牛奶巧克力
油脂结构	ν_{asCH_3} -巧克力-二阶导数	2 957. 84(-0. 000)	2 957. 87(-0. 000)	2 958. 15(-0. 000)
	ν_{asCH_2} -巧克力-二阶导数	2 922. 23(-0. 002)	2 922. 78(-0. 000)	2 922. 87(-0. 001)
	ν_{sCH_3} -巧克力-二阶导数	2 873. 20(0. 000)	2 873. 22(0. 000)	2 873. 26(-0. 000)
	ν_{sCH_2} -巧克力-二阶导数	2 852. 60(-0. 002)	2 853. 00(-0. 002)	2 852. 94(-0. 002)
	$\nu_{\text{C}=\text{O}}$ -巧克力-二阶导数	1 745. 61(-0. 002)	1 745. 52(-0. 002)	1 745. 88(-0. 002)
	δ_{asCH_3} -巧克力-二阶导数	1 460. 17(-0. 001)	1 460. 30(-0. 001)	1 460. 00(-0. 001)
	δ_{sCH_3} -巧克力-二阶导数	1 375. 94(-0. 000)	1 375. 29(-0. 000)	1 375. 79(-0. 000)
	ρ_{CH_2} -巧克力-二阶导数	733. 13(-0. 000)	733. 12(-0. 000)	733. 10(-0. 001)
蛋白质结构	$\nu_{\text{amide-I}}$ -巧克力-二阶导数	1 651. 50(-0. 000)	1 659. 00(-0. 000)	1 659. 03(-0. 000)
	$\nu_{\text{amide-II}}$ -巧克力-二阶导数	1 511. 85(-0. 000)	1 514. 63(-0. 000)	1 515. 42(-0. 000)
糖类结构		1 085. 91(0. 000)、	1 085. 62(0. 000)、	1 084. 30(0. 000)、
		1 067. 22(-0. 003)、	1 066. 68(-0. 004)、	1 067. 08(-0. 005)、
		1 051. 14(-0. 002)、	1 050. 60(-0. 002)、	1 051. 12(-0. 002)、
	$\nu_{\text{C}=\text{O}}$ -巧克力-二阶导数	1 036. 43(-0. 001)、	1 036. 32(-0. 002)、	1 035. 77(-0. 003)、
		1 014. 03(-0. 001)、	1 014. 00(-0. 002)、	1 014. 60(-0. 002)、
	1 003. 77(-0. 001)	1 003. 72(-0. 001)	1 003. 53(-0. 002)	

表 3 巧克力油脂结构变温一维 MIR 光谱数据(303~393 K)

测试 温度/K	吸收频率及强度[$\text{cm}^{-1}(\text{A})$]		
	醇黑巧克力	奶香白巧克力	丝滑牛奶巧克力
303	2 922. 29(0. 23)、2 852. 95(0. 16)、 1 745. 19(0. 17)、1 459. 12(0. 11)、 1 374. 86(0. 10)、721. 25(0. 14)	2 922. 79(0. 22)、2 853. 27(0. 16)、 1 745. 41(0. 16)、1 459. 40(0. 11)、 1 374. 32(0. 10)、721. 48(0. 15)	2 922. 92(0. 21)、2 853. 26(0. 14)、 1 745. 57(0. 14)、1 459. 05(0. 11)、 1 374. 88(0. 11)、722. 03(0. 18)
313	2 922. 71(0. 22)、2 853. 26(0. 15)、 1 745. 65(0. 16)、1 459. 00(0. 11)、 1 374. 66(0. 10)、721. 43(0. 14)	2 923. 00(0. 22)、2 853. 41(0. 16)、 1 745. 62(0. 16)、1 459. 33(0. 11)、 1 374. 18(0. 10)、720. 81(0. 15)	2 923. 32(0. 20)、2 853. 54(0. 14)、 1 745. 93(0. 14)、1 458. 71(0. 11)、 1 374. 80(0. 11)、722. 14(0. 18)
323	2 922. 94(0. 22)、2 853. 44(0. 15)、 1 745. 91(0. 16)、1 458. 52(0. 11)、 1 374. 52(0. 10)、720. 73(0. 14)	2 923. 37(0. 20)、2 853. 64(0. 14)、 1 745. 95(0. 14)、1 459. 26(0. 11)、 1 373. 82(0. 11)、720. 28(0. 16)	2 923. 56(0. 20)、2 853. 70(0. 14)、 1 746. 14(0. 13)、1 458. 62(0. 11)、 1 374. 64(0. 11)、721. 27(0. 18)
333	2 923. 09(0. 21)、2 853. 58(0. 14)、 1 746. 06(0. 16)、1 458. 45(0. 11)、 720. 26(0. 14)	2 923. 73(0. 19)、2 853. 81(0. 13)、 1 746. 19(0. 13)、1 459. 03(0. 11)、 1 373. 60(0. 11)、720. 15(0. 16)	2 923. 79(0. 19)、2 853. 86(0. 13)、 1 746. 35(0. 13)、1 458. 43(0. 11)、 1 374. 59(0. 11)、721. 06(0. 18)
343	2 923. 34(0. 21)、2 853. 76(0. 14)、 1 746. 29(0. 15)、1 458. 15(0. 11)、 719. 87(0. 14)	2 924. 07(0. 19)、2 854. 03(0. 13)、 1 746. 40(0. 12)、1 458. 81(0. 12)、 1 373. 26(0. 12)、719. 60(0. 17)	2 924. 09(0. 19)、2 854. 01(0. 13)、 1 746. 47(0. 12)、1 458. 21(0. 11)、 1 374. 37(0. 12)、720. 26(0. 18)
353	2 923. 54(0. 20)、2 853. 92(0. 14)、 1 746. 47(0. 15)、1 715. 82(0. 04)、 1 457. 93(0. 11)	2 924. 34(0. 18)、2 854. 18(0. 12)、 1 746. 52(0. 11)、1 458. 56(0. 12)、 1 372. 87(0. 12)、719. 03(0. 17)	2 924. 38(0. 18)、2 854. 17(0. 12)、 1 746. 68(0. 11)、1 458. 04(0. 11)、 1 374. 02(0. 12)、719. 91(0. 19)
363	2 923. 73(0. 20)、2 854. 06(0. 13)、 1 746. 61(0. 15)、1 457. 70(0. 11)、 719. 50(0. 14)	2 924. 72(0. 17)、2 854. 40(0. 12)、 1 746. 62(0. 11)、1 458. 23(0. 12)、 1 372. 77(0. 13)	2 924. 68(0. 17)、2 854. 31(0. 12)、 1 746. 82(0. 11)、1 457. 73(0. 12)

续表3

测试 温度/K	吸收频率及强度[$\text{cm}^{-1}(\text{A})$]		
	醇黑巧克力	奶香白巧克力	丝滑牛奶巧克力
373	2 923.94(0.19)、2 854.18(0.13)、 1 746.72(0.14)、1 457.44(0.11)、 718.87(0.14)	2 924.99(0.16)、2 854.59(0.11)、 1 746.79(0.10)、1 457.97(0.12)	2 924.99(0.17)、2 854.48(0.11)、 1 746.99(0.10)、1 457.16(0.12)
383	2 924.10(0.19)、2 854.34(0.12)、 17 46.82(0.14)、1 457.38(0.11)	2 925.10(0.15)、2 854.82(0.10)、 1 746.81(0.09)、1 457.78(0.12)	2 925.48(0.16)、2 854.71(0.11)、 1 747.08(0.10)、1 457.24(0.12)
393	2 924.30(0.18)、2 854.47(0.12)、 1 746.92(0.13)、1 457.04(0.12)	2 925.42(0.14)、2 855.24(0.10)、 1 746.75(0.08)、1 457.19(0.13)	2 926.04(0.15)、2 855.03(0.10)、 1 746.99(0.09)、1 456.91(0.12)

2.2.2 巧克力油脂结构变温二阶导数 MIR 光谱实验

采用二阶导数变温 TD - MIR 光谱检测温度变化对于巧克力油脂结构的影响(表4)。实验发现:随着测定温度的升高,醇黑巧克力油脂结构 ν_{asCH_3} -醇黑巧克力-二阶导数、 ν_{asCH_2} -醇黑巧克力-二阶导数、 ν_{sCH_3} -醇黑巧克力-二阶导数、 ν_{sCH_2} -醇黑巧克力-二阶导数和 $\nu_{\text{C=O}}$ -醇黑巧克力-二阶导数 对应的吸收频率蓝移, δ_{asCH_3} -醇黑巧克力-二阶导数 对应的吸收频率红移,

δ_{sCH_3} -醇黑巧克力-二阶导数 则在373 K温度下消失,而 ρ_{CH_2} -醇黑巧克力-二阶导数 对应的裂分双峰则在393 K温度下仍可以发现。其他2种巧克力的光谱信息见表4。实验数据发现:奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力 ρ_{CH_2} -巧克力-二阶导数 对应的吸收峰消失的温度分别373和343 K。两组实验得到了同样的结论,说明醇黑巧克力抗热性要优于奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力。

表4 巧克力油脂结构变温二阶导数 MIR 光谱数据(303 ~ 393 K)

测试 温度/K	吸收频率及强度[$\text{cm}^{-1}(\text{A})$]		
	醇黑巧克力	奶香白巧克力	丝滑牛奶巧克力
303	2 957.84(-0.000)、2 922.23(-0.001)、2 873.20(0.000)、 2 852.60(-0.002)、1 745.61(-0.002)、1 460.17(-0.001)、 1 375.94(-0.000)、733.13(-0.000)、721.09(-0.000)	2 957.87(-0.000)、2 922.78(-0.000)、2 873.22(0.000)、 2 853.00(-0.002)、1 745.52(-0.002)、1 460.30(-0.001)、 1 375.29(-0.000)、733.12(-0.001)、721.60(-0.000)	2 958.15(-0.000)、2 922.87(-0.001)、2 873.26(-0.000)、 2 852.94(-0.002)、1 745.88(-0.002)、1 460.00(-0.001)、 1 375.79(-0.000)、733.10(-0.001)、720.70(-0.000)
313	2 958.04(-0.000)、2 922.67(-0.001)、2 873.38(0.000)、 2 852.97(-0.002)、1 745.82(-0.002)、1 460.23(-0.000)、 1 375.95(-0.000)、732.80(-0.000)、721.29(-0.000)	2 958.01(-0.000)、2 923.01(-0.001)、2 873.36(0.000)、 2 853.11(-0.002)、1 745.68(-0.002)、1 460.32(-0.000)、 1 375.28(-0.000)、733.01(-0.001)、721.20(-0.000)	2 958.10(-0.000)、2 923.30(-0.001)、2 873.37(-0.000)、 2 853.22(-0.002)、1 746.09(-0.002)、1 459.84(-0.001)、 1 375.77(-0.000)、733.14(-0.001)、720.96(-0.000)
323	2 958.05(-0.000)、2 922.91(-0.001)、2 873.57(0.000)、 1 746.09(-0.002)、1 460.07(-0.000)、1 375.94(-0.000)、 732.74(-0.000)、721.01(-0.000)	2 958.00(-0.000)、2 923.41(-0.001)、2 873.51(0.000)、 2 853.30(-0.002)、1 746.05(-0.002)、1 460.41(-0.000)、 1 375.02(-0.000)、732.76(-0.000)、720.88(-0.000)	2 958.17(-0.000)、2 923.57(-0.001)、2 873.50(0.000)、 2 853.37(-0.002)、1 746.21(-0.002)、1 459.97(-0.001)、 732.81(-0.000)、720.55(-0.000)
333	2 958.16(-0.000)、2 923.03(-0.001)、2 873.69(0.000)、 2 853.26(-0.002)、1 746.13(-0.002)、1 460.16(-0.001)、 1 375.84(-0.000)、732.85(-0.000)、720.77(-0.000)	2 958.00(-0.000)、2 923.82(-0.001)、2 873.43(0.000)、 2 853.47(-0.001)、1 746.27(-0.002)、1 460.19(-0.000)、 1 374.90(-0.000)、732.90(-0.000)、721.64(-0.000)	2 958.18(-0.000)、2 923.76(-0.001)、2 873.59(0.000)、 2 853.48(-0.001)、1 746.42(-0.002)、1 459.85(-0.001)、 1 375.76(-0.000)、732.69(-0.000)、720.56(-0.000)

续表 4

测试 温度/K	吸收频率及强度[cm^{-1} (A)]		
	醇黑巧克力	奶香白巧克力	丝滑牛奶巧克力
343	2 958.12(-0.000)、2 923.32 (-0.001)、2 873.72(0.000)、 2 853.41(-0.002)、1 746.43 (-0.002)、1 459.83(-0.001)、 1 375.77(-0.000)、732.38 (-0.000)、720.60(-0.000)	2 957.81(-0.000)、2 924.19 (-0.001)、2 873.61(0.000)、 2 853.64(-0.001)、1 746.48 (-0.001)、1 460.11(-0.001)、 1 374.76(-0.000)、732.81 (-0.000)、720.89(-0.000)	2 958.10(-0.000)、2 924.15 (-0.001)、2 873.70(0.000)、 2 853.62(-0.001)、1 746.54 (-0.001)、1 459.68(-0.001)、 1 375.74(-0.000)、732.91 (-0.000)
	2 958.50(-0.000)、2 923.58 (-0.001)、2 873.90(0.000)、 2 853.55(-0.002)、1 746.61 (-0.002)、1 459.69(-0.001)、 1 375.76(-0.000)、732.41 (-0.000)、720.25(-0.000)	2 957.87(-0.000)、2 924.50 (-0.001)、2 873.69(0.000)、 2 853.77(-0.001)、1 746.69 (-0.001)、1 460.00(-0.001)、 1 374.58(-0.000)、732.76 (-0.000)、720.79(-0.000)	2 958.11(-0.000)、2 924.45 (-0.001)、2 873.72(0.000)、 2 853.72(-0.001)、1 746.71 (-0.001)、1 459.55(-0.001)、 1 375.74(-0.000)、732.71 (-0.000)
	2 958.26(-0.000)、2 923.81 (-0.001)、2 874.07(0.000)、 2 853.66(-0.001)、1 746.69 (-0.002)、1 459.64(-0.000)、 1 375.85(-0.000)、732.49 (-0.000)、720.90(-0.000)	2 957.76(-0.000)、2 925.08 (-0.001)、2 873.74(0.000)、 2 853.88(-0.001)、1 746.84 (-0.001)、1 459.72(-0.001)、 1 374.44(-0.000)、732.66 (-0.000)、720.73(-0.000)	2 958.31(-0.000)、2 925.00 (-0.001)、2 873.78(0.000)、 2 853.80(-0.001)、1 746.84 (-0.001)、1 459.24(-0.000)、 732.68(-0.000)
	2 958.50(-0.000)、2 923.97 (-0.001)、2 874.17(0.000)、 2 853.76(-0.001)、1 746.82 (-0.002)、1 459.50(-0.000)、 732.67(-0.000)、720.10 (-0.000)	2 957.89(-0.000)、2 925.50 (-0.001)、2 873.93(0.000)、 2 853.93(-0.001)、1 746.99 (-0.001)、1 459.59(-0.001)、 1 374.25(-0.000)、732.72 (-0.000)	2 958.28(-0.000)、2 925.21 (-0.001)、2 874.00(0.000)、 2 853.87(-0.001)、1 746.97 (-0.001)、1 458.87(-0.000)、 732.66(-0.000)
383	2 958.75(-0.000)、2 924.16 (-0.001)、2 874.24(0.000)、 2 853.91(-0.001)、1 746.91 (-0.002)、1 459.28(-0.000)、 732.63(-0.000)	2 957.88(-0.000)、2 925.50 (-0.000)、2 854.06(-0.001)、 1 747.13(-0.001)、1 459.66 (-0.001)、732.79(-0.000)	2 958.11(-0.000)、2 926.17 (-0.001)、2 874.00(0.000)、 2 854.00(-0.001)、1 747.18 (-0.001)、1 458.77(-0.000)、 732.43(-0.000)
	2 958.69(-0.000)、2 924.43 (-0.001)、2 874.50(0.000)、 2 853.97(-0.001)、1 747.02 (-0.001)、1 458.85(-0.000)、 732.28(-0.000)、719.84 (-0.000)	2 957.81(-0.000)、2 925.86 (-0.000)、2 854.20(-0.000)、 1 747.32(-0.001)、1 459.77 (-0.000)、732.56(-0.000)	2 958.00(-0.000)、2 926.92 (-0.000)、2 874.40(-0.000)、 2 854.08(-0.001)、1 747.19 (-0.001)、1 458.74(-0.000)、 732.78(-0.000)

3 结论

实验表明,德芙巧克力的红外吸收模式包括:

ν_{asCH_3} -巧克力、 ν_{asCH_2} -巧克力、 ν_{sCH_3} -巧克力、 ν_{sCH_2} -巧克力、 $\nu_{\text{C=O}}$ -巧克力、 $\nu_{\text{amide-I}}$ -巧克力、 $\nu_{\text{amide-II}}$ -巧克力、 δ_{asCH_3} -巧克力、 δ_{sCH_3} -巧克力、 $\nu_{\text{C-O}}$ -巧克力和 ρ_{CH_2} -巧克力。醇黑巧克力、奶香白巧克力、丝滑牛奶巧克力的营养成分相同,均含有油脂结构、蛋白质结构及糖类结构。奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力中糖类的含

量要高于醇黑巧克力,而油脂及蛋白质的含量在 3 种巧克力中并没有太大的差异性。巧克力油脂 CH_2 晶体结构 ρ_{CH_2} -巧克力-一维吸收峰是巧克力油脂结构的特征红外吸收模式,变温一维 MIR 光谱与变温二阶导数 MIR 光谱实验得到了同样的结论,醇黑巧克力油脂结构稳定性及抗热性要优于奶香白巧克力和丝滑牛奶巧克力。

提高巧克力抗热性方法主要包括:加固巧克力微观结构、添加可结合油脂的多聚物、添加高熔

点油脂。巧克力的微观结构加固途径可以通过加入保湿剂或形成乳化体系引入水分发展糖的二级结晶网络,但是部分糖表面没有油脂的包裹,会增加巧克力黏度,后续储藏也容易出现糖霜,随后发展了除水技术,但会增加成本;添加高熔点乳化剂多形成二级网络,在温度升高过程中乳化剂可包裹油脂来抵御热冲击,但巧克力会有蜡感。可可脂酶法酯交换和直接添加高熔点油脂组分可增加油脂熔点又不影响口感,但是成本相对较高。根据醇黑巧克力的 MIR 光谱实验数据,并没有发现明显的保湿剂及其它乳化剂的结构,醇黑巧克力在保持优良口感性的基础上,增加抗热性,较可能的方法是添加高熔点油脂。

参考文献:

- [1] 王秋玉,姚远,陈航,等. 烘烤豆渣制作可可脂巧克力工艺研究[J]. 美食研究,2018,35(2):48-51.
- [2] 池娟娟,陈云波,张亚飞,等. 纯脂巧克力用脂及其分析、应用研究进展[J]. 中国油脂,2021,46(8):131-139.
- [3] 沈海燕,谢仕潮,张虹,等. 巧克力油脂相容性研究进展[J]. 中国油脂,2013,38(8):38-43.
- [4] ANDERSEN M D. Heat stable chocolate: US201630-9734[P]. 2016-10-27.
- [5] BEST E T, OAKENFULL D G, MALADEN - PERCY M, et al. Tropicalizing agent, and methods for making and using the same: US2005118327 [P]. 2005-06-02.
- [6] 石长波,姚恒喆,袁惠萍,等. 近红外光谱技术在肉制品安全性检测中的应用研究进展[J]. 美食研究,2021,38(2):62-67.
- [7] 袁亚明,苟瑞珑,于小番,等. 两种烹调方式对明虾的营养品质及质构的影响[J]. 美食研究,2020,37(3):48-52.
- [8] 王晓萱,贺璇儿,冯汇,等. 乙纶二维中红外光谱研究[J]. 纺织科学与工程学报,2021,38(1):45-51.
- [9] 于宏伟,常明,孙凤,等. 硬脂酸 CH- α 面内摇摆振动变温 FT-IR 光谱[J]. 实验室研究与探索,2014,33(3):16-20.
- [10] 常明,武玉洁,张海燕,等. 硬脂酸亚甲基面内摇摆振动二维红外光谱研究[J]. 光散射学报,2014,26(3):295-301.
- [11] 于宏伟,王晓萱,戎媛. 医用白凡士林三级 MIR 光谱研究[J]. 保定学院学报,2021,34(04):112-118.
- [12] 于宏伟,王晓萱,戎媛,等. “泰斯花粉阻隔剂”结构研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2021,39(4):15-22.

Heat resistance of chocolate oil structure based on mid-infrared spectroscopy

DU Linnan, WANG Xiaoxuan, MENG Lu, LI Jiixin, YU Hongwei

(College of Chemical Technology, Shijiazhuang University, Hebei, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: Mid-infrared (MIR) spectroscopy was used to investigate the structure of Dove chocolates (mellow dark, creamy white and silky milk), and the heat resistance of the three chocolates was compared by variable temperature MIR spectroscopy. The results showed that the infrared absorption modes of Dove chocolate included 11 modes: ν_{asCH_3} , ν_{asCH_2} , ν_{sCH_3} , ν_{sCH_2} , $\nu_{C=O}$, $\nu_{amide-I}$, $\nu_{amide-II}$, δ_{asCH_3} , δ_{sCH_3} , ν_{C-O} and ρ_{CH_2} ; according to the difference in the heat sensitivity of ρ_{CH_2} . It was found that the oil structure of dark chocolate had better heat resistance than creamy white and silky milk chocolate.

Key words: chocolate; mid-infrared spectroscopy; variable temperature mid-infrared spectroscopy; oil structure; heat resistance

(责任编辑:赵勇 曹文磊)