

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.11.021

芝麻分离蛋白对牛乳微观形态及干酪 DSC 特性的影响*

卢晓明 左芳雷 郭慧媛 任发政 陈尚武
(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

【摘要】 为研究芝麻分离蛋白对干酪体系的修饰作用,对芝麻分离蛋白部分替代乳蛋白对干酪用乳微观结构和凝块热力学特性的影响进行分析。以芝麻蛋白占混合乳中总蛋白含量的0.4%、8%和12%制作4种干酪进行分析研究。结果表明,芝麻分离蛋白添加后引起乳脂分散,乳脂肪球变小,表现出芝麻蛋白的乳化均质作用。DSC分析显示其凝块热力学特性受芝麻分离蛋白浓度影响显著,凝块出现新的热吸收峰,且峰值温度发生变化。同时结合已有报道对芝麻分离蛋白与酪蛋白相互作用方式进行了探讨,结果表明,芝麻分离蛋白与酪蛋白发生共沉淀,对干酪凝块起到特性修饰作用。

关键词: 干酪 芝麻分离蛋白 差示扫描量热法 微观结构
中图分类号: TS252.53 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)11-0110-05

Effects of Sesame Protein Isolate on DSC of Curd and
Microstructural Properties of Cheese Milk

Lu Xiaoming Zuo Fanglei Guo Huiyuan Ren Fazheng Chen Shangwu
(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

To study the influence of sesame protein isolate on cheese system, the characteristics of microstructure and thermal properties of cheese contained sesame protein isolate were investigated. Cheeses made from mixture milk with 0, 4%, 8%, 12% protein substituted by sesame protein isolates in total milk protein were prepared. Adding sesame protein isolate in cow milk resulted fat globular smaller and more regular, showed the emulsifying and homogeneous properties of sesame protein isolate. DSC analysis showed the thermodynamic properties were influenced by sesame protein isolate, one new absorption peak was detected and the peak temperature varied with sesame protein isolate content. The interact mode of sesame protein isolate and casein based on the present results were discussed and the research results were published.

Key words Cheese, Sesame protein isolate, Differential scanning calorimety, Microstructure

引言

在干酪制作过程中,乳成分的改变会引起酪蛋白胶束的胶体状态以及终产品功能特性的改变,当添加了新的成分时,如植物蛋白等,这种改变尤为明显^[1-3]。大豆分离蛋白、乳清蛋白、羊乳及其他非蛋

白类添加物,如淀粉、果胶和菊糖等被广泛应用于干酪研究中以改善产品特性^[4-8]。

芝麻蛋白以其较高的营养价值和功能特性(乳化性、起泡性、打发性、持水性、凝胶性、质构性等)被广泛应用于食品生产中^[9-12],起到品质改良的作用。对芝麻分离蛋白在干酪中的应用研究表明,其

收稿日期: 2010-05-08 修回日期: 2010-06-02
* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD04A06)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA10Z310)
作者简介: 卢晓明,博士生,主要从事乳品科学研究, E-mail: lxm5968@163.com
通讯作者: 陈尚武,教授,博士生导师,主要从事生物技术及乳品科学研究, E-mail: swchen@cau.edu.cn

对于酪质构和微观结构起到促进作用^[13]。但芝麻分离蛋白对最初干酪用乳物理状态及所得干酪凝块热力学变化方面的影响还未见报道。研究干酪用乳的微观状态有助于从乳的初始状态分析最终干酪的特性变化^[13]。而对凝块进行热力学分析有利于进一步证明芝麻分离蛋白对干酪结构的修饰作用。本文从这两个方面对含芝麻分离蛋白干酪用乳及新鲜酶凝干酪进行研究,并探讨芝麻蛋白与酪蛋白的相互作用方式。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜牛乳:北京三元食品股份有限公司干酪加工专用原料奶。芝麻:市售白芝麻。干酪用发酵剂、凝乳酶由丹尼斯克北京分公司提供。

1.2 实验设备

多功能电动搅拌器(D-8401-WZ型,天津市华兴科学仪器厂);高速离心机(TGL-20M型,长沙平凡仪器仪表有限公司);电热恒温水槽(DK-8B型,上海市精宏试验设备有限公司);冷冻干燥机(LGJ-25型,北京德天佑科技发展有限公司);光学显微镜(XSZ-HS7型,北京东南仪诚实验室设备有限公司);临界点干燥仪(CPA II型,日本Hitach公司);喷射镀金仪(JFC 1100型,日本Eiko公司);扫描电子显微镜(Hitachi S-3400N型,日本);干酪槽(自制);质构仪(TMS-PRO型,美国FTC公司);差示扫描量热仪(DSC-60型,日本岛津公司);分析天平(AY220型,日本岛津公司);激光粒度仪(LS230型,美国贝克曼库尔特公司)。

1.3 方法

1.3.1 芝麻分离蛋白制备

参考文献[9]的方法,略有改动。芝麻经人工挑选除去萎缩、发霉芝麻颗粒及杂质。将芝麻磨碎,用正己烷去脂,复溶后用0.5% NaOH提取2 h,然后于4℃以8 000 g离心30 min,取上清液,用HCl调pH值至4.5,离心取沉淀,将沉淀用NaOH中和至pH值7.0,水洗两次,冷冻干燥,得到芝麻分离蛋白备用。

1.3.2 干酪用乳制备及干酪制作

干酪用乳:将芝麻分离蛋白复溶,制成蛋白含量3%的芝麻分离蛋白溶液,并用乳脂肪将溶液脂肪含量调整到3.2%;用脱脂乳和乳脂肪将新鲜牛乳调整到蛋白质和脂肪含量分别为3.0%和(3.2±0.2)%。将芝麻蛋白溶液以混合乳总体积的0、4%、8%和12%与牛乳混合,样品分别标记为MCC、SCL、SCM和SCH。

干酪:用以上干酪用乳制作干酪,参照文献[13]的方法,用9%柠檬酸将干酪用乳pH值调到6.6,巴氏杀菌(63℃、30 min),冷却到32℃,接种发酵剂,发酵120 min,添加凝乳酶,静置30~50 min待凝乳形成,轻轻搅拌10 min,静置10 min待乳清析出,然后将凝块转移到干酪模具中排乳清。待干酪基本成型时,将干酪移出模具,于4~6℃成熟14 d。

1.3.3 干酪用乳显微结构观察

乳脂肪微观检测:将干酪用乳于4℃静置12 h,待其脂肪上浮,取一滴脂肪部分均匀涂于载玻片上,于光学显微镜下观察脂肪的分布和形态,放大倍数为1 000倍。

干酪用乳微观结构:参照文献[14]的方法,取15 μL样品于载玻片,使其均匀分布,将载玻片置于日光灯照射下干燥2 h,然后将干酪的载玻片敲成碎片,镀金60 s。镀金后的样品用扫描电子显微镜观察。

1.3.4 干酪样品 DSC 检测

凝块样品的DSC检测采用文献[15]的方法,略有修改。称取大约5 mg的样品于铝制坩埚中,用压样机将坩埚密封后用于实验。样品在50℃平衡5 min,以2℃/min的速度升温至150℃,每个样品测定时均放置空坩埚作为空白对照。采用标准品钢(熔点156.6℃,熔融热焓28.45 J/g)对仪器进行校正,氮气作为保护气体。计算凝块的相变起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)、终止温度(T_e)和焓变(ΔH)。每个样品重复3次。

1.3.5 统计分析

采用SPSS 16.0 (SPSS Inc, 2008)软件分析工具,对样品的均值、标准差和显著性进行分析($P < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 乳脂肪形态

干酪的功能特性不仅受乳脂肪浓度的影响,同时也受乳脂肪球结构的影响,如大小和形状^[16]。乳脂肪在乳中作为一种乳化剂^[17],通过加入外源蛋白,乳脂肪球的状态受到破坏,形状会发生变化,而引起干酪功能特性的变化。图1为芝麻蛋白修饰后乳中脂肪样品的光学显微图片。从图1可以看出,添加芝麻蛋白明显改变了脂肪球分布和颗粒大小。在用芝麻蛋白代替部分乳蛋白的混合乳中,能够明显观察到脂肪滴体积变小,尤以芝麻蛋白替代量为4%和8%时最为明显(图1b、1c),当芝麻分离蛋白含量为12%时,脂肪球有增大趋势,说明芝麻分离蛋白对乳脂肪颗粒的减小作用具有适合的浓度

范围。脂肪球直径分布统计如图 2 所示,图中 1~4 号样品分别指代乳中芝麻蛋白替代量为 0、4%、8% 和 12%。能够看出 SCL 和 SCM 样品的脂肪球直径显著减小($P\leq 0.05$)。通过激光粒度仪检测脂肪颗粒平均大小,其结果与显微镜观察的结果相吻合。干酪的质构、风味和物化特性都在很大程度上受到乳中脂肪状态的影响^[18]。有报道表明牛乳中混合山羊乳后混合乳中的脂肪球体积减小,并引起最终干酪产品中的脂肪含量下降^[14]。文献[13]研究表明,干酪微观网络中,表示脂肪的空隙直径随芝麻分离蛋白的增加而减小。加入芝麻蛋白引起的乳脂肪球大小的变化显示出芝麻蛋白对乳脂肪有类似均质的作用,其作用后乳脂肪球颗粒减小,分布更加均匀。脂肪经均质处理后能够使干酪更具细腻度和涂抹性,具有更加细腻、爽滑的口感,且再加工性增强;脂肪颗粒大小的均一化能够使干酪微观网络结构更加规则有序,使其在应用于食品加工过程(如烘焙、涂抹、拉伸、融化等)中的可塑性增强。

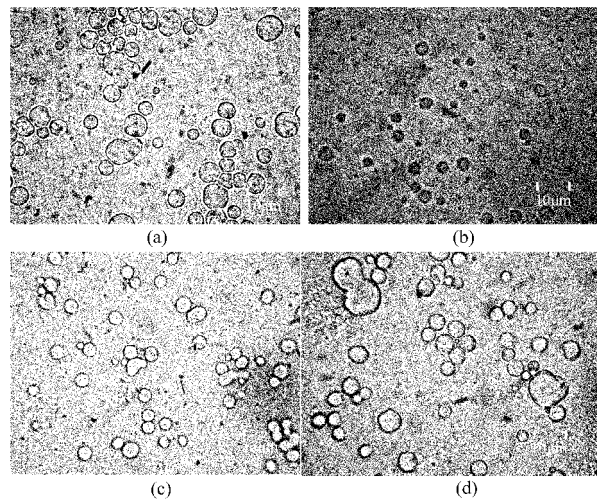


图 1 芝麻分离蛋白含量对乳中脂肪形态影响的光学显微镜图片

Fig. 1 Light microscope of milk fat with sesame protein isolate contained in mixture milk protein

(a) 芝麻蛋白替代量 0 (b) 芝麻蛋白替代量 4%
(c) 芝麻蛋白替代量 8% (d) 芝麻蛋白替代量 12%

通过扫描电子显微镜能够对牛乳图片的乳芝麻球膜进行直接的视觉观察,从而反应对照乳和芝麻分离蛋白-乳中脂肪球的结构和微观形态。从图 3 中能明显看出芝麻分离蛋白-乳中的蛋白质分布更加细致,紧凑。图中球形的圆圈状结构为乳脂肪球,如图中粗箭头所指(图 3a),而图中不规则的管状结构和高亮显示的小颗粒是被破坏的乳脂肪脂肪球膜碎片,如图中细箭头所指(图 3b~3d)。纯牛乳中脂肪球形状完好,大小在 5~8 μm 左右,当乳中加入芝麻蛋白后,乳脂肪球减小,圆球形状消失,分散为小

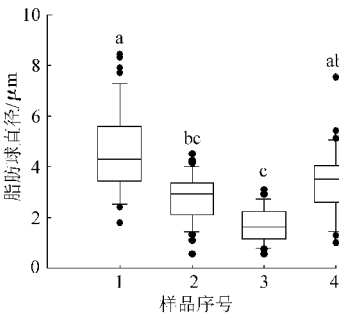


图 2 脂肪球直径分布统计图

Fig. 2 Statistical graph of fat globule diameters
注:a~d不同字母表示样品之间具有差异性, $P\leq 0.05$ 。

(1~3 μm)而规则的团簇(图 3b~3d),而均质后的脂肪球一般保持在 1~2 μm ^[19]。有研究者认为乳中脂肪球的形状小有利于改善干酪质构,因为乳脂肪的表面积增大,与蛋白质的接触增加^[20]。该结果可以认为芝麻蛋白将乳脂肪从脂肪球中释放出来,对混合乳起到天然的均质作用。干酪用乳中芝麻蛋白替代量达到 8% 时,产生的蛋白和脂肪结构最均一一致,排列最为致密紧凑(图 4c),表现了最高程度的乳化性,与文献[13]报道的结果相符,即 8% 芝麻分离蛋白对干酪质构起到促进作用,而且微观结构显示其结构更加紧凑,致密。当芝麻蛋白替代量达到 12% 时,均质作用降低(图 4d),研究发现 12% 芝麻分离蛋白的干酪用乳凝乳成型性较差,引起干酪的质构特性降低^[13]。

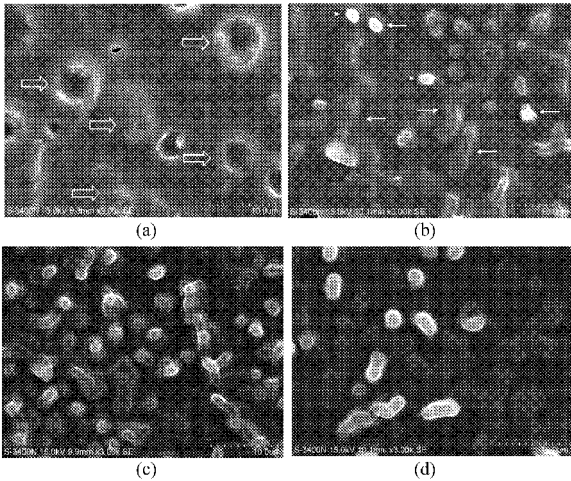


图 3 乳中添加芝麻分离蛋白的扫描电子显微图片

Fig. 3 Scanning electron micrograph of milk with sesame protein isolate contained in mixture milk protein

(a) 芝麻蛋白替代量 0 (b) 芝麻蛋白替代量 4%
(c) 芝麻蛋白替代量 8% (d) 芝麻蛋白替代量 12%

2.2 干酪的热力学特性

干酪除直接食用外,被广泛用作烘焙食品的配料,了解干酪凝块的热力学特性对于把握其在食品加工应用中的特性具有积极作用。不同芝麻蛋白含

量凝块的 DSC 热焓变化如图 4 所示。从图中可以看出,芝麻蛋白含量对凝块的热焓变化影响明显。在纯牛乳凝块中,出现两个峰,干酪用乳中芝麻蛋白替代量为 4% 时,出现了 3 个峰(图 4b),随着芝麻蛋白替代量(8%)的增加,后面两个较小的峰温度非常接近(图 4c),出峰温度逐渐上升,这些峰值的出现说明在此温度处有一个稳定的结构。当干酪用乳中芝麻蛋白替代量为 12% 时,主峰后面仅出现一个峰面积相对较大的峰(图 4d),而且出峰温度较 8% 凝块样品增大,这可能是芝麻蛋白-酪蛋白复合胶体含量增多引起的。在对豆乳的热力学研究中发现,热变性温度随豆乳中蛋白质含量的增加而升高^[21]。

各样品变性温度和热焓值变化见表 1。随着芝麻蛋白含量的增加,凝块起始变性温度呈下降趋势,最高峰峰值温度芝麻蛋白替代量为 4% 时出现最低值,但随芝麻蛋白含量增加有所提高,与对照样品无显著差异,各样品变性终止温度差异不显著($P > 0.05$)。说明芝麻蛋白对干酪凝块空间结构的修饰作用与其浓度之间无线性相关性,干酪凝块的主要结构变化不显著,文献[13]报道指出添加 4% 和 8% 芝麻分离蛋白的干酪微观结构更加致密,紧凑,而含 12% 芝麻分离蛋白的干酪微观结构则比较疏松。与本文脂肪颗粒大小相似,4% 和 8% 芝麻蛋白修饰后的乳脂肪颗粒明显减小,而含 12% 芝麻蛋白的干酪用乳中乳脂肪则有增大趋势。说明芝麻蛋白对干酪用乳及干酪凝块的修饰作用有一适合浓度范

围。MCC、SCL 和 SCM 样品在 136℃ 左右均出现一个较小的峰,但 SCL 和 SCM 样品分别在 132℃ 和 137℃ 左右各出现一个新的峰。而 SCH(12% 芝麻分离蛋白)样品除主峰外,没有出现两个小峰,但在 138℃ 左右出现了一个非常明显的峰。芝麻蛋白含量对凝块蛋白胶束的变性温度具有明显的影响作用,而新吸收峰的出现说明在此温度下有一稳定的结构存在,可以认为芝麻分离蛋白对蛋白质网络结构起到一定修饰作用。

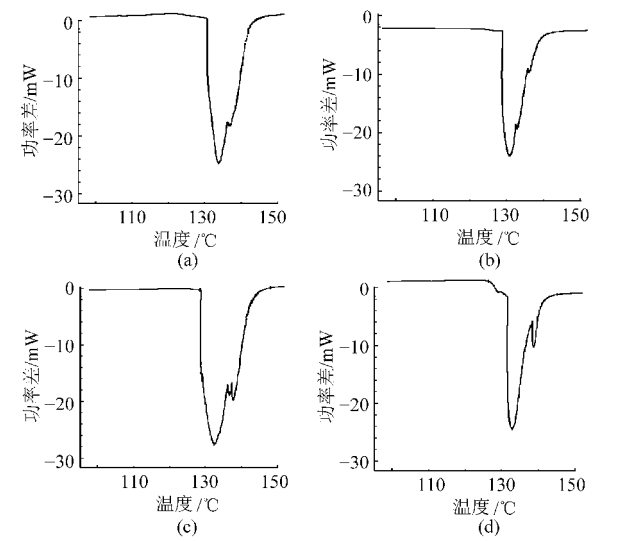


图 4 芝麻蛋白对干酪凝块 DSC 变化影响的热分析
Fig.4 Influence of sesame protein isolate concentration on DSC thermal analysis of curd samples
(a) 芝麻蛋白替代量 0 (b) 芝麻蛋白替代量 4%
(c) 芝麻蛋白替代量 8% (d) 芝麻蛋白替代量 12%

表 1 芝麻蛋白对凝块样品 DSC 变化的热分析数据
Tab.1 DSC properties of curd with various sesame protein isolate contents

干酪样品	$T_o/^\circ\text{C}$	$T_{p1}/^\circ\text{C}$	$T_{p2}/^\circ\text{C}$	$T_{p3}/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$
MCC	131.3 ± 0.9 ^a	134.1 ± 0.7 ^a	136.0 ± 0.1 ^{bc}		148.0 ± 0.3	569.3 ± 6.2 ^b
SCL	128.7 ± 0.2 ^{ab}	131.2 ± 0.5 ^b	133.4 ± 0.4 ^{cd}	137.5 ± 0.1	145.3 ± 0.6	487.4 ± 7.7 ^c
SCM	127.9 ± 1.4 ^{ab}	132.2 ± 0.8 ^{ab}	136.8 ± 1.1 ^{ab}	137.0 ± 0.6	148.1 ± 0.8	563.2 ± 3.8 ^b
SCH	126.7 ± 1.1 ^b	133.3 ± 0.5 ^{ab}	138.9 ± 0.7 ^a		145.0 ± 0.3	693.8 ± 8.2 ^a

注:a~d不同字母上标表示同行之间具有差异性, $P\leq 0.05$ 。

2.3 芝麻分离蛋白与酪蛋白相互作用方式的讨论
文献[13]报道了含芝麻分离蛋白干酪的微观结构,指出芝麻分离蛋白与酪蛋白发生相互作用,共沉淀形成新的网络复合蛋白体系,在此结构中芝麻分离蛋白微小团簇状附着于酪蛋白胶束,对其结构起到修饰作用。本文发现芝麻分离蛋白在与牛乳混合阶段即对其微观状态产生影响,可以认为在混合乳阶段芝麻分离蛋白即与酪蛋白发生相互作用,从而对其微观结构产生影响。以文献[22]提出的酪蛋白经典模型为参考,结合本文结果及文献[13]的

研究结果,芝麻分离蛋白与酪蛋白相互作用方式可用图 5 表示。

3 结束语

干酪用乳中脂肪球大小和分布受芝麻分离蛋白影响显著,芝麻分离蛋白对干酪用乳起到天然均质乳化的作用,使脂肪颗粒减小,分布更加均匀。对其进行 DSC 热分析,从凝块热力学上说明芝麻分离蛋白-酪蛋白复合蛋白网络的相变过程与单纯的酪蛋白网络相比发生了明显变化,说明乳中加入芝麻蛋

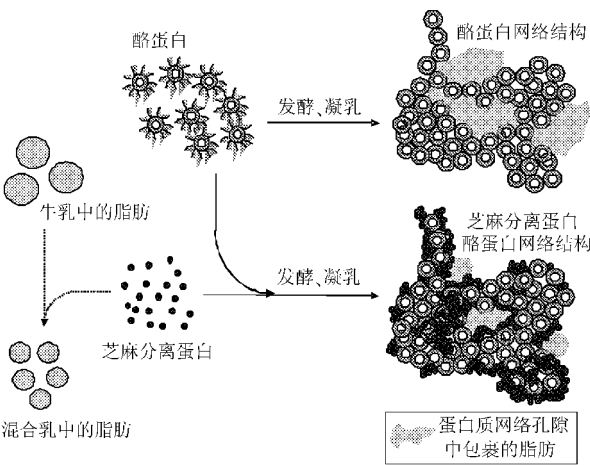


图5 芝麻分离蛋白与酪蛋白相互作用发生共沉淀的作用方式

Fig.5 Model of the co-coagulation of sesame protein isolate and casein

白后,蛋白质胶束被修饰,热力学特性发生了一定的改变,可能出现了新的稳定结构。本文探讨的芝麻分离蛋白和酪蛋白相互作用模式表明,其在最初混合阶段即发生相互作用,从干酪用乳物理性质到凝乳过程都发生了相应变化,芝麻分离蛋白与酪蛋白发生共沉淀,形成了新的复合蛋白网络。

参 考 文 献

1 Hsieh Y L, Yun J J, Rao M A. Rheological properties of mozzarella cheese filled with dairy, egg, soy proteins, and gelatin [J]. Journal of Food Science, 1993, 58(5):1 001 ~ 1 004.

2 Hallab R, Kohen C, Grandison M A, et al. Assessment of the quality of cottage cheese produced from standard and protein-fortified skim milk[J]. International Journal of Dairy Technology, 2007, 60(2):69 ~ 73.

3 Kelly A L, Huppertz T, Sheehan J J. Pre-treatment of cheese milk: principles and developments[J]. Dairy Science and Technology, 2008, 88(4 ~ 5):549 ~ 572.

4 Lee Y H, Marshall R T. Rennet curd from milk plus soy protein mixtures[J]. Journal of Dairy Science, 1979, 62(7):1 051 ~ 1 057.

5 Beaulieu M, Turgeon S L, Doublier J L. Rheology texture and microstructure of whey protein / low methoxyl pectins mixed gels with added calcium[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(11 ~ 12):961 ~ 967.

6 Tsigkros D, Folland E, Moate R, et al. Feta cheese texture: the effect of caprine and ovine milk concentration [J]. International Journal of Dairy Technology, 2003, 56(4):233 ~ 236.

7 Mounsey J S. Effect on wheat starch on imitation cheese texture[J]. Journal of Food Technology, 2009, 7(2):30 ~ 33.

8 Hennelly P J, Dunne P G, O'Sullivan M, et al. Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(3):388 ~ 395.

9 El-Adawy T A. Effect of sesame seed protein supplementation on the nutritional, physical, chemical and sensory properties of wheat flour bread[J]. Food Chemistry, 1997, 59(1):7 ~ 14.

10 Aloba A P. Effect of sesame seed flour on millet biscuit characteristics[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2001, 56(2):195 ~ 202.

11 Arslan E, Yener M E, Esin A. Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(2):167 ~ 172.

12 Fremont S, Zitouni N, Kanny G, et al. Allergenicity of some isoforms of white sesame proteins[J]. Clinical & Experimental Allergy, 2002, 32(8):1 211 ~ 1 215.

13 Lu X M, Schmitt D, Chen S W. Effect of sesame protein isolate in partial replacement of milk protein on the rheological, textural and microstructural characteristics of fresh cheese[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(7):1 368 ~ 1 377.

14 Arshad H. The physiochemical and sensorial study of composite feta cheese made from goat and cow milk[D]. Beijing: China Agricultural University, 2008.

15 Noisuwan A, Bronlund J, Wilkinson B, et al. Effect of milk protein products on the rheological and thermal (DSC) properties of normal rice starch and waxy rice starch[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(1):174 ~ 183.

16 Lopez C, Camier B, Gassi J Y. Development of the milk fat microstructure during the manufacture and ripening of Emmental cheese observed by confocal laser scanning microscopy[J]. International Dairy Journal, 2007, 17(3):235 ~ 247.

- 7 Meyer W S, Barrs H D, Smith R C G, et al. Effect of irrigation on soil oxygen status and root and shoot growth of wheat in a clay soil[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1985, 36(2): 171 ~ 185.
- 8 Drew M C. Soil aeration and plant root metabolism[J]. Soil Science, 1992, 154(4): 259 ~ 267.
- 9 孙周平, 郭志敏, 王贺. 根际通气性对马铃薯光合生理指标的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(3): 125 ~ 128.
Sun Zhouping, Guo Zhimin, Wang He. Effects of different rhizosphere ventilation treatments on photosynthetic and physiological indices of potato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(3): 125 ~ 128. (in Chinese)
- 10 Kurtz K W, Kneebone W R. Influence of aeration and genotypes up on root growth of creeping bentgrass at supraoptimal temperature[J]. International Turfgrass Society Research Journal, 1980, 3: 145 ~ 148.
- 11 Goorahoo D, Carstensen G, Zoldoske D F, et al. Using air in subsurface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell peppers[J]. International Water and Irrigation, 2002, 22(2): 39 ~ 42.
- 12 Petigara B R, Blough N V, Mignerey A C. Mechanism of hydrogen peroxide decomposition in soils[J]. Environmental Science & Technology, 2002, 36(4): 639 ~ 645.
- 13 Bhattarai S, Huber S, Midmore D J. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soil[J]. Annals of Applied Biology, 2004, 144(3): 285 ~ 298.
- 14 Wuertz H. Subsurface drip irrigation: on-farm responses and technical advances[C] // College of Agricultural and Home Economics, New Mexico State University. Drip Irrigation for Row Crops, Cooperative Extensive Service, Circular 573, 2000.
- 15 Bhattarai S P, Midmore D J. Oxygenation of rhizosphere with subsurface aerated irrigation water improves lint yield and performance of cotton on saline heavy clay soil[C] // 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 2004.
- 16 刘君璞, 许勇, 孙小武, 等. 我国西瓜甜瓜产业“十一五”的展望及建议[J]. 中国瓜菜, 2006(1): 1 ~ 3.
- 17 张静, 任卫新, 严健. 番茄膜下滴灌综合效益分析[J]. 节水灌溉, 2004(1): 29 ~ 30.
- 18 Yuan B Z, Kang Y, Nishiyama S. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse[J]. Irrigation Science, 2001, 20(3): 149 ~ 154.
- 19 Zeng C Z, Bie Z L, Yuan B Z. Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(4): 595 ~ 602.
- 20 赵伟霞, 蔡焕杰, 单志杰, 等. 无压灌溉日光温室番茄高产指标[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 16 ~ 21.
Zhao Weixia, Cai Huanjie, Shan Zhijie, et al. High yield indicators of greenhouse tomato under non-pressure irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 16 ~ 21. (in Chinese)
- 21 汤瑞凉, 王葵. 农作物品种综合评判的熵权系数法研究[J]. 资源开发与市场, 2002, 18(5): 3 ~ 4.
Tang Ruiliang, Wang Yan. Method of entropic coefficients for comprehensive evaluation of crop varieties[J]. Resource Development & Market, 2002, 18(5): 3 ~ 4. (in Chinese)
- 22 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(12): 98 ~ 102.
Guo Xianguang. Application of improved entropy method in evaluation of economic result[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1998(12): 98 ~ 102. (in Chinese)
- 23 Ayars J E, Phene C J, Hutmacher R B, et al. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory[J]. Agricultural Water Management, 1999, 42(1): 1 ~ 27.
- 24 Lamm F R, Trooien T P. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas[J]. Irrigation Science, 2003, 22(3 ~ 4): 195 ~ 200.

(上接第 114 页)

- 17 Lopez C. Focus on the supramolecular structure of milk fat in dairy products[J]. Reproduction Nutrition Development, 2006, 46(1): 497 ~ 511.
- 18 Jaros D, Petrag J, Rohm H, et al. Milk fat composition affects mechanical and rheological properties of processed cheese [J]. Applied Rheology, 2001, 11(1): 19 ~ 25.
- 19 郭本恒. 干酪[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- 20 Mistry V V, Anderson D L. Improving the sensory characteristics of reduced-fat cheese[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1995, 367: 371 ~ 382.
- 21 Zhang H, Takenaka M, Isobe S. DSC and electrophoretic studies on soymilk protein denaturation[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2004, 75(3): 719 ~ 726.
- 22 Walstra P. On the stability of casein micelles[J]. Journal of Dairy Science, 1990, 73(8): 1965 ~ 1979.