

# 欧洲李营养功效研究进展

## Nutritional benefits of European plums (*Prunus domestica* L.)

刘志彬 冯江朵 张雯 倪莉

LIU Zhi-bin FENG Jiang-duo ZHANG Wen NI Li

(福州大学食品科学技术研究所, 福建 福州 350108)

(Institute of Food Science and Technology, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

**摘要:** 欧洲李鲜果及干制产品, 在美国、欧洲及全世界范围内均被广泛食用。欧洲李富含多酚类物质及其他植物营养素, 营养价值丰富。大量研究表明, 欧洲李具有很强的抗氧化活性, 并具有保护心血管系统、抗结肠癌活性、预防老化相关的认知缺陷、缓解便秘、促进骨骼健康等营养功效。文章综述欧洲李营养功效的研究进展, 以期为进一步研究欧洲李或其同属产品的营养价值提供依据。

**关键词:** 欧洲李; 西梅; 营养功效; 多酚

**Abstract:** European plum (*Prunus domestica* L.) and its dried products, commonly known as prune, are widely consumed in United States, European countries and worldwide. European plum, which is rich in polyphenols and other phytochemicals, possesses high nutritional values. This review summarizes the findings of published studies which examine the nutritional benefits, including antioxidant activity, the protection effect on cardiovascular system, anti colon cancer activity, relieving constipation effect and bone health improvement effect of European plum.

**Keyword:** European plum; dried plum; nutritional benefits; polyphenol

欧洲李 (*Prunus domestica* L.) 为蔷薇科 (*Rosaceae*) 李属 (*Prunus*) 植物。分布在美国西部、西亚、欧洲以及中国等地, 生长于海拔 1 200~1 400 m 的地区<sup>[1]</sup>。欧洲李除了鲜食以外, 也常干制后食用, 俗称西梅。它是一种低热量、低脂肪、低糖、低血糖生产指数的食品, 富含 V<sub>C</sub>、V<sub>K</sub> 和 V<sub>A</sub>, 富含膳食纤维, 富含钾、铜、硼等矿物质, 还含有很高的多酚类物质, 如绿原酸、花青素、原花青素等。欧洲李具有与蓝莓相当的抗氧化活性且含有更为丰富的植物营养素, 有助于预防诸多疾病。目前欧美、日本等对欧洲李的营养功效做了较为深入且

广泛的研究。文章针对目前国外对欧洲李的抗氧化活性、保护心血管系统、抗结肠癌活性、预防老化相关的认知缺陷、缓解便秘、促进骨骼健康等方面的营养功效的研究进行综述, 以期为进一步研究欧洲李或其同属产品的营养价值提供依据。

### 1 抗氧化活性

长期的氧化应激是形成慢性疾病及退行性疾病的重要原因。蔬菜与水果由于含有丰富的 V<sub>C</sub>、V<sub>E</sub>、多酚、类胡萝卜素, 被认为是能够抵抗氧化应激的天然食物, 即具有抗氧化活性。其中欧洲李的抗氧化活性在欧美得到广泛认可, 在学术界也开展了大量学术研究评估其抗氧化活性。

2004 年, 美国农业部和贝尔茨维尔人类营养研究中心联合开展的一项研究对比了超过 100 种食物 (包括水果、蔬菜、坚果、果干、香料、谷类食品、婴儿食品等) 的脂溶性抗氧化活力 (lipophilic-ORAC<sub>FL</sub>)、水溶性抗氧化活力 (hydrophilic-ORAC<sub>FL</sub>)、总抗氧化活力 (TAC) 和总酚含量 (TP)。在所检测的 24 种水果中, 欧洲李的水溶性抗氧化活性 (每克鲜果约 70 μmol V<sub>E</sub> 当量, 表示为 70 μmol TE/g) 和总抗氧化活力 (约 70 μmol TE/g) 仅次于野生蓝莓 (H-ORAC<sub>FL</sub>: 92.09 μmol TE/g, TAC: 92.60 μmol TE/g) 和蔓越莓 (H-ORAC<sub>FL</sub>: 92.56 μmol TE/g, TAC: 94.56 μmol TE/g), 略高于种植蓝莓, 为樱桃的 2 倍, 苹果的 2~3 倍, 橘子的 3 倍, 葡萄的 6 倍左右。在所检测的 4 种最普遍食用的果干 (枣干、无花果干、西梅、葡萄干) 中, 西梅的水溶性抗氧化活性和总抗氧化活力是其他三者的 3 倍左右, 总酚含量也是三者中最高的<sup>[2]</sup>。Chun 等<sup>[3]</sup>研究了 11 种已成熟的欧洲李的总酚、总黄酮及总抗氧化活性, 发现 11 种欧洲李的每 100 g 鲜果的抗氧化活性 (ABTS 清除活性) 为 144.4~889.6 mg VCE (V<sub>C</sub> 当量), 总酚含量为 138.1~684.5 mg GAE (没食子酸当量), 总黄酮含量为 59.3~366.0 mg CE (儿茶素当量)。且总酚与总黄酮含量分别与总抗氧化性呈线性相关关系 ( $R^2$  分别为 0.988 7 和 0.965 3)。类似的, Rop 等<sup>[4]</sup>研究了 12 种典型的白喀尔巴阡山脉种植

**基金项目:** 福建省永泰县科技计划项目 (编号: 樟科 2014)

**作者简介:** 刘志彬 (1982—), 男, 福州大学助理研究员, 硕士。

E-mail: liuzhibin@fzu.edu.cn

**通讯作者:** 倪莉

**收稿日期:** 2015-07-28

的欧洲李的抗氧化活性,发现每克鲜果的抗氧化活性(ABTS清除活性)为 2.58~6.04 mg VCE,总酚含量为 2.27~4.95 mg GAE,总酚含量与抗氧化活性也呈线性相关关系( $R^2=0.893$ )。此外,Rop 等<sup>[4]</sup>的研究发现欧洲李还有很高的矿物质和果胶含量(21.7~35.4 g/kg)。Kristl 等<sup>[5]</sup>的研究还发现,欧洲李鲜果采用水及有机溶剂提取成分的抗氧化活力仅占到其总抗氧化活力的 18%,还有相当高的抗氧化活力由酸水解所获得的单宁(hydrolysable tannins)和不可提取的原花青素(non-extractable proanthocyanidins)贡献。考虑到目前绝大部分文献报道的欧洲李抗氧化活力的评估方法都是采用水或有机溶剂提取的方法获得的,而没有考虑大量无法提取成分的抗氧化活性(部分不溶性成分在摄入后可能被肠道菌群降解从而表现出抗氧化活性),因此 Kristl 等<sup>[5]</sup>认为欧洲李的抗氧化活力可能被大大低估了。Kristl 等<sup>[5]</sup>的研究还发现,在最后 1 周的成熟期内欧洲李的抗氧化活力上升了约 38%。

除了对欧洲李的抗氧化活力进行评估外,还有大量的文献研究了欧洲李抗氧化的机理。Gil 等<sup>[6]</sup>对比了欧洲李中的V<sub>C</sub>、类胡萝卜素、总酚对其总抗氧化性的贡献发现,总酚的贡献远超过V<sub>C</sub>和类胡萝卜素,总酚含量与其抗氧化性呈高度线性相关关系( $R=0.94$ )。欧洲李含有各种多酚成分,从欧洲李鲜果及西梅中获得的主要多酚类物质为对羟基肉桂酸衍生物,包括新绿原酸(neochlorogenic acid, 3-O-caffeoylquinic acid, 3-CQA)、隐绿原酸(cryptochlorogenic acid, 5-O-caffeoylquinic acid, 5-CQA)等<sup>[7-10]</sup>,其中新绿原酸含量最高,3-CQA, 4-CQA 和 5-CQA 三者的比例为 78.7:18.4:3.9<sup>[10]</sup>。绿原酸被广泛认为具有清除氧自由基活性的物质,并且能抑制脂质氧化过程中所形成的共轭二烯,因此绿原酸具有极强的抗氧化能力。Tomas-Barberan 等<sup>[11]</sup>通过液质联用分析了加州地区种植的 5 种欧洲李鲜果的多酚成分发现,其果实中的多酚除了占最主要的对羟基肉桂酸衍生物类多酚(占 84%~90%)外,还含有一定的黄酮醇类(flavan-3-ols, 占 4%~8%)、黄酮醇类(flavonols, 占 2%~3%)和花青素类(anthocyanins, 占 4%~9%)化合物。欧洲李鲜果中没有检测到儿茶素和表儿茶素,但儿茶素的二聚体及三聚体含量很高,是欧洲李中主要的黄酮醇类化合物,且其在皮中的含量比果肉中的高;欧洲李中的主要黄酮醇类化合物为槲皮素的衍生物,如 quercetin 3-glucoside, quercetin 3-rutinoside, quercetin 3-xyloside 等,基本分布于皮中;欧洲李中的主要花青素类衍生物为 cyanidin 3-glucoside, cyanidin 3-rutinoside, cyanidin 3-acetyl glucoside 和 cyanidin 3-galactoside, 也主要分布在皮中<sup>[11]</sup>。这些多酚类化合物单体均具有极强的抗氧化活性,其在欧洲李表皮及果肉中的存在对欧洲李的抗氧化活性作出了一定的贡献。除了多酚类物质外, Kikuzaki 等<sup>[12]</sup>还从欧洲李中分离纯化得到 4 种新的脱落酸成分(abscisic acid related compounds)和 2 种含糖基的水溶性木酚素(lignan glucosides)。其中含糖基的水溶性木酚素具有较强的氧自由基清除活性。

## 2 保护心血管系统

包含果胶在内的膳食纤维具有降低血液胆固醇水平,尤其是低密度脂蛋白(LDL)胆固醇水平的作用,从而降低心血管疾病风险。欧洲李富含可溶性膳食纤维,100 g 欧洲李鲜果中膳食纤维的含量高达 6~7 g,其中 60%为果胶<sup>[13]</sup>。因此欧洲李对心血管系统具有一定的保护作用。此外,由于欧洲李具有丰富的抗氧化物质,能够对脂质氧化起到抑制作用,从而发挥对心血管系统的保护作用。

Tinker 等<sup>[13]</sup>开展的一项持续 8 周的交叉人体试验表明,轻度高胆固醇的受试者每日摄入 12 颗欧洲李鲜果(约 100 g,大约含 6 g 膳食纤维)可以显著降低血浆胆固醇和 LDL 胆固醇水平,并可显著降低粪便石胆酸的浓度,且各项指标的降低效果均显著优于摄入葡萄汁的效果。Tinker 等<sup>[14]</sup>的另一项动物试验也表明,从欧洲李鲜果中提取的膳食纤维可以降低高血脂鼠的血浆和肝脏胆固醇水平。Gallaher 等<sup>[15]</sup>给 apoE 缺陷小鼠(动脉粥样硬化模型鼠)喂食高胆固醇饲料,同时喂食西梅粉末(占饲料的 4.75%),并以仅喂食高胆固醇饲料的 apoE 缺陷小鼠作为阳性对照组,以仅喂食不含胆固醇饲料的 apoE 缺陷小鼠作为阴性对照。经过 5 个月的分组喂养之后发现,西梅组与阴性对照组小鼠的动脉粥样硬化病变区显著低于阳性对照组小鼠;西梅组与阴性对照组小鼠的血清淀粉样 P 成分(SAP)也显著低于阳性对照组小鼠。可见西梅有助于缓解动脉粥样硬化的进一步发展。

除了这些动物试验及临床试验外,还有一些体外试验也间接证明了欧洲李具有保护心血管系统的功能。如 Donovan 等<sup>[8]</sup>的研究发现,欧洲李提取物、欧洲李果汁提取物以及从欧洲李中分离纯化获得的新绿原酸和绿原酸均可以抑制铜催化的人血浆 LDL 氧化。

## 3 抗结肠癌活性

欧洲李鲜果及西梅含有大量的膳食纤维和多酚成分。有文献<sup>[16]</sup>报道某些膳食纤维成分可以通过稀释粪便胆汁酸,降低结肠传输时间,增加肠腔内短链脂肪酸浓度来预防结肠癌变。欧洲李中所含有的大量果胶等膳食纤维可以在结肠被肠道菌群发酵,产生大量的丁酸盐。丁酸盐可以调控细胞增殖和凋亡,预防 DNA 损伤<sup>[17-18]</sup>。新绿原酸、隐绿原酸和绿原酸作为欧洲李中的主要多酚类物质,是很强的过氧化物清除剂,但由于分子量过大难以被人体胃肠道直接吸收,而在大肠部分发挥抗氧化的作用,从而发挥抗结肠癌的作用<sup>[19]</sup>。

2005 年美国农业部对比了蓝莓、青梅、西梅、草莓、樱桃、蔓越莓和苹果中的总膳食纤维和总多糖在体外结合胆汁酸的效果,发现效果最好的是青梅和西梅,达到了降胆敏 50%的效果<sup>[20]</sup>。Fuji 等<sup>[21]</sup>研究了欧洲李提取物对两种肿瘤细胞(Caco-2 和 KATO III)的体外细胞毒性,试验发现,欧洲李提取物会降低 Caco-2 和 KATO III 细胞数量,但对人正常结肠成纤维细胞(CCD-18Co)无影响;欧洲李提取物还会诱导 Caco-2 细胞凋亡。Yang 等<sup>[22]</sup>给大鼠喂食西梅粉末发现,西梅

可以降低大鼠粪便中胆汁酸、石胆酸、脱氧胆酸、猪去氧胆酸的含量,还可以降低部分与结肠癌有关的细菌酶(7 $\alpha$ -脱羟基酶, $\beta$ -葡萄糖醛酸酶)的活力。因此,Yang 等<sup>[22]</sup>认为西梅的摄入可以降低导致结肠癌的风险因子。

#### 4 预防老化相关的认知缺陷

脑部及神经系统的长期氧化应激及炎症被认为是导致人类及动物老化相关的认知衰退的主要原因。中枢神经系统似乎对氧化应激十分脆弱,而且随着年龄的增长,这种脆弱性会增加。也有证据<sup>[23]</sup>表明,中枢神经系统的炎症在老化过程中也发挥了重要作用。而摄入富含体外抗氧化活力及抗炎活力的水果及蔬菜,尤其是深色的水果与蔬菜,对缓解老化相关的认知缺陷具有很大的帮助<sup>[23-26]</sup>。欧洲李中所含有的大量具有抗氧化活力的酚类物质除了可以缓解氧化应激外,还可以发挥抗炎的作用。

2008 年美国农业部的一项动物试验研究<sup>[27]</sup>显示,每日摄入欧洲李果汁(含 30.3 mg GAE)可以有效提高高龄大鼠在水迷宫中的表现,显示出欧洲李果汁具有缓解老龄化大鼠的认知缺陷的功能。试验还发现给高龄大鼠喂食西梅粉并不具备这样的效果,其原因可能是由于每日摄入的多酚量过少(为 3.30 mg GAE)。

#### 5 缓解便秘

大约有 20% 的人群受便秘的困扰,严重的便秘需要采用药物干预的手段治疗,如服用泻药,而对于轻度的便秘,食物疗法更受欢迎。欧洲李及欧洲李果汁被认为具有缓解便秘和提高肠道功能的功效。早在 1972 年 Ritchie<sup>[28]</sup>就报道了西梅中的酚丁(oxyphenisatin)具有促进结肠运动性的效果,可以作为接触性泻药来使用。欧洲李缓解便秘的作用主要是由于它具有相当高的纤维含量,100 g 鲜果含 7.1 g 纤维,包括可溶性和不溶性纤维。欧洲李中还含有木糖醇和山梨糖醇<sup>[29]</sup>,木糖醇可以促进胃排空和降低肠通过时间<sup>[30]</sup>,山梨糖醇也具有通便的效果,并能引起肠道菌群的改变<sup>[31-33]</sup>。此外,欧洲李中含有的多酚成分也可能辅助促进通便活性。

Sairanen 等<sup>[34]</sup>开展的一项人体试验研究显示,相比于传统酸奶,让轻度便秘的老年人连续 3 周每天摄入含 12 g 半乳寡聚糖(galacto-oligosaccharides)、12 g 欧洲李和 6 g 亚麻籽的酸奶,可以显著提高受试者的通便频率和排便容易度,并软化粪便。可见半乳寡聚糖、欧洲李和亚麻籽可以缓解便秘,提高胃肠道功能。Piiirainen 等<sup>[35]</sup>开展的另一项人体试验也发现,连续 2 周每日饮用 250 mL 的欧洲李果汁,对有某些胃肠道症状的成年人具有显著的促进排便功效,并且有大约 1 周的延续效果,因此 Piiirainen 等<sup>[35]</sup>认为欧洲李果汁具有通便功效。Attaluri 等<sup>[36]</sup>通过一项为期 8 周的随机单盲交叉人体试验对比了西梅和车前草对慢性便秘患者的缓解效果,结果发现每日摄入 50 g 西梅(含 6 g 纤维)能显著提高受试者排便频率和粪便软度,且效果优于每日摄入 11 g 车前草(含 6 g 纤维)的作用。Attaluri 等<sup>[36]</sup>认为西梅是一种美味、安全且高效的治疗轻度便秘的食品,可以作为便秘的一线治疗方案。

## 6 促进骨骼健康

随着人口的老齡化,骨质疏松症正日益成为人类的一大威胁,尤其是绝经后妇女,由于雌激素缺乏导致骨量减少及骨组织结构变化,严重影响老年人的身体健康及生活质量。除了药物治疗外,某些生活方式的改变及营养学的治疗方案也正受到人们的重视。Hooshmand 等<sup>[37]</sup>认为,在众多营养食品中,西梅及欧洲李鲜果是目前发现的最有效的可以预防或者逆转骨钙损失的天然食品。

Arjmandi 等<sup>[38]</sup>研究显示,在饲料中添加 25% 的西梅,可以有效阻止卵巢切除所导致的雌性大鼠在股骨和腰椎部分的骨密度的损失,同时提高血清胰岛素样生长因子(IGF-I),但对碱性磷酸酶活性没有影响。Arjmandi 等<sup>[38]</sup>认为,西梅具有保护骨组织的作用,并且是通过促进骨形成的速率来实现的,而非抑制骨的再吸收。Smith 等<sup>[39]</sup>给卵巢摘除手术 6 周后的雌性成年大鼠喂食 6 周西梅,考察西梅对骨组织的保护效果。试验结果发现:高剂量西梅的摄入(占饲料的 15% 或 25%)可以恢复大鼠全身和股骨的骨密度水平,抑制骨转化(N 端 I 型骨胶原蛋白(PINP)和脱氧吡啶诺林(DPD)水平下降),提高松质骨形成速率(BFR),增大矿化表面(MS/BS),提高骨骼钙化沉积率(MAR),并且上调骨形成蛋白 4(Bmp4)和 IGF-I 水平,下调活化 T 细胞核因子(Nfatc1)水平。Deyhim 等<sup>[40-41]</sup>的试验也证实了西梅在对卵巢摘除手术雌性大鼠骨组织的保护作用。此外,西梅对去势雄性鼠及老年鼠的骨组织保护功效也很突出。Bu 等<sup>[42]</sup>采用手术去势的方式造模形成骨质疏松雄性大鼠,然后喂食西梅考察西梅摄入对去势大鼠的骨量和骨微结构的影响。试验发现,经过 90 d 含 25% 西梅饮食的摄入后,大鼠的脊椎和股骨的骨密度提高了 11%,大鼠的骨微结构也得到一定改善,并且大鼠尿液中 DPD 和钙的含量下降,碱性磷酸酶和骨钙蛋白变化不显著。西梅的效果与阳性对照的甲状旁腺素(PTH)相似,但效果稍弱。Franklin 等<sup>[43]</sup>也得到了类似的研究结果,还发现西梅的摄入提高了骨质疏松雄性大鼠的皮质的极限载荷量,并提高了松质骨的压力和刚度。Halloran 等<sup>[44]</sup>给成年鼠(6 个月)和老年鼠(18 个月)喂食西梅 6 个月,考察西梅对大鼠骨组织形态学的影响,结果发现,喂食含 25% 西梅的饲料可以提高 40%~50% 的松质骨量。Halloran 等<sup>[44]</sup>认为西梅可以提高骨量并恢复由于年龄老化所引起的骨损失,因此西梅可以用于预防及治疗骨质疏松。

除了动物试验外,也有大量的人体试验证实西梅的摄食可以抑制绝经后妇女的骨转化率,提高骨密度。Arjmandi 等<sup>[45]</sup>开展了一项短期西梅摄入试验:48 名绝经妇女每日摄入 100 g 西梅或 75 g 苹果干,摄食西梅 3 个月受试者的血清 IGF-I 水平和骨特异性碱性磷酸酶(BSAP)水平显著提高,从而表现出更高的骨形成速率。Hooshmand 等<sup>[46]</sup>开展了一项为期一年的人体试验:236 名绝经 1~10 年的妇女每日摄入 100 g 西梅或 75 g 苹果干,结果发现相比于苹果干,西梅能显著提高前臂尺骨和脊柱骨密度。

西梅中富含新绿原酸、绿原酸等抗氧化物质可以清除损伤性自由基,并被证明具有一定的抑制骨吸收和刺激骨形成

的效果<sup>[47]</sup>。此外,西梅中所富含的硼(3.4 mg/100 g)、钾(732 mg/100 g)和 $V_K$ (59.5  $\mu$ g/100 g)也可能对其促进骨骼健康起到积极作用。硼可以调控骨和钙代谢<sup>[48]</sup>,对维持骨密度有所帮助<sup>[49]</sup>。钾对保持人体的骨密度有一定贡献<sup>[50]</sup>。 $V_K$ 可以促进钙平衡从而促进骨骼健康,还是骨钙蛋白 $\gamma$ -羧化的协同因子, $\gamma$ -羧化后的骨钙蛋白可以促进羟基磷灰石晶体的生长<sup>[51]</sup>。但目前对西梅促进骨骼健康的机理尚未完全清楚。

## 7 结论与展望

综上所述,欧洲李由于富含多酚、膳食纤维及其它植物营养素而表现出诸多营养功效,可以用于预防及治疗多种疾病,是一种营养价值极高的天然食品。中国李(*Prunus salicina*,或称东方李)是欧洲李的同属植物,包括芙蓉李、胭脂李等品种,在中国有广泛的种植和食用传统。中国李与欧洲李在外形、性状上极为相似,推测其也具有相当高的营养价值。在《本草纲目》、《随息居饮食谱》、《医林纂要》、《名医别录》等古籍医书中也早有关于中国李营养功效的记载。但相比于欧美、日本等发达国家,中国食品学界、营养学界对中国李的营养功效的研究还较为缺乏。随着中国消费水平的不断提高,消费者对优质食品的需求将不断增大,中国食品科技工作者有必要借鉴国外对欧洲李的营养功效的研究,对中国李的营养价值进行深入研究,并将其介绍给消费者,从而满足消费者的需求,以及促进中国李产业的发展。

### 参考文献

- Okie W R, Ramming D W. Plum breeding worldwide[J]. Hort Technology, 1999, 9(2): 162~176.
- Wu Xian-li, Beecher G R, Holden J M, et al. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(12): 4 026~4 037.
- Chun O K, Kim D O, Moon H Y, et al. Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(25): 7 240~7 245.
- Rop O, Jurikova T, Mlcek J, et al. Antioxidant activity and selected nutritional values of plums (*Prunus domestica* L.) typical of the White Carpathian Mountains[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122(4): 545~549.
- Kristl J, Slekovec M, Tojnkó S, et al. Extractable antioxidants and non-extractable phenolics in the total antioxidant activity of selected plum cultivars(*Prunus domestica* L.): Evolution during on-tree ripening[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 29~34.
- Gil M I, Tomás-Barberán F A, Hess-Pierce B, et al. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(17): 4 976~4 982.
- Fang Nian-bai, Yu Shang-gong, Prior R L. LC/MS/MS characterization of phenolic constituents in dried plums[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(12): 3 579~3 585.
- Donovan J L, Meyer A S, Waterhouse A L. Phenolic composition and antioxidant activity of prunes and prune juice (*Prunus domestica*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(4): 1 247~1 252.

- Raynal J, Moutounet M, Souquet J M. Intervention of phenolic compounds in plum technology. 1. Changes during drying[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1989, 37(4): 1 046~1 050.
- Nakatani N, Kayano S, Kikuzaki H, et al. Identification, quantitative determination, and antioxidative activities of chlorogenic acid isomers in prune (*Prunus domestica* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(11): 5 512~5 516.
- Tomás-Barberán F A, Gil M I, Cremin P, et al. HPLC—DAD—ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(10): 4 748~4 760.
- Kikuzaki H, Kayano S, Fukutsuka N, et al. Abscisic acid related compounds and lignans in prunes (*Prunus domestica* L.) and their oxygen radical absorbance capacity (ORAC) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(2): 344~349.
- Tinker L F, Schneeman B O, Davis P A, et al. Consumption of prunes as a source of dietary fiber in men with mild hypercholesterolemia [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1991, 53(5): 1 259~1 265.
- Tinker L F, Davis P A, Schneeman B O. Prune fiber or pectin compared with cellulose lowers plasma and liver lipids in rats with diet-induced hyperlipidemia[J]. The Journal of Nutrition, 1994, 124(1): 31~40.
- Gallaher C M, Gallaher D D. Dried plums (prunes) reduce atherosclerosis lesion area in apolipoprotein E-deficient mice [J]. British Journal of Nutrition, 2009, 101(2): 233~239.
- Lupton J R, Turner N D. Potential protective mechanisms of wheat bran fiber[J]. The American Journal of Medicine, 1999, 106(1): 24~27.
- Abrahamse S L, Pool-Zobel B L, Rechkemmer G. Potential of short chain fatty acids to modulate the induction of DNA damage and changes in the intracellular calcium concentration by oxidative stress in isolated rat distal colon cells[J]. Carcinogenesis, 1999, 20(4): 629~634.
- Hu Ying, Martin J, Le Leu R, et al. The colonic response to genotoxic carcinogens in the rat: regulation by dietary fibre[J]. Carcinogenesis, 2002, 23(7): 1 131~1 137.
- Choudhury R, Srai S K, Debnam E, et al. Urinary excretion of hydroxycinnamates and flavonoids after oral and intravenous administration[J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 27(3): 278~286.
- Kahlon T S, Smith G E. In vitro binding of bile acids by blueberries (*Vaccinium* spp.), plums (*Prunus* spp.), prunes (*Prunus* spp.), strawberries (*Fragaria X ananassa*), cherries (*Malpighia punicifolia*), cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) and apples (*Malus sylvestris*) [J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 1 182~1 187.
- Fujii T, Ikami T, Xu Jin-wen, et al. Prune extract (*Prunus domestica* L.) suppresses the proliferation and induces the apoptosis of human colon carcinoma Caco-2 [J]. Journal of Nutritional

- Science and Vitaminology, 2006, 52(5): 389~391.
- 22 Yang Yu-qing, Gallaher D D. Effect of dried plums on colon cancer risk factors in rats[J]. Nutrition and Cancer, 2005, 53(1): 117~125.
- 23 Joseph J A, Shukitt-Hale B, Casadesus G. Reversing the deleterious effects of aging on neuronal communication and behavior: beneficial properties of fruit polyphenolic compounds[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 81(1): 313S~316S.
- 24 Cao Guo-hua, Sofic E, Prior R L. Antioxidant capacity of tea and common vegetables[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(11): 3 426~3 431.
- 25 Wang Hong, Cao Guo-hua, Prior R L. Total antioxidant capacity of fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(3): 701~705.
- 26 Shukitt-Hale B, Galli R L, Meterko V, et al. Dietary supplementation with fruit polyphenolics ameliorates age-related deficits in behavior and neuronal markers of inflammation and oxidative stress[J]. Age, 2005, 27(1): 49~57.
- 27 Shukitt-Hale B, Kalt W, Carey A N, et al. Plum juice, but not dried plum powder, is effective in mitigating cognitive deficits in aged rats[J]. Nutrition, 2009, 25(5): 567~573.
- 28 Ritchie J. Mass peristalsis in the human colon after contact with oxyphenisatin[J]. Gut, 1972, 13(3): 211~219.
- 29 Stacewicz-Sapuntzakis M, Bowen P E, Hussain E A, et al. Chemical composition and potential health effects of prunes: a functional food? [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2001, 41(4): 251~286.
- 30 Salminen E K, Salminen S J, Porkka L, et al. Xylitol vs glucose: effect on the rate of gastric emptying and motilin, insulin, and gastric inhibitory polypeptide release[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1989, 49(6): 1 228~1 232.
- 31 Salminen S, Salminen E, Bridges J, et al. The effects of sorbitol on the gastrointestinal microflora in rats[J]. Zeitschrift Für Ernährungswissenschaft, 1986, 25(2): 91~95.
- 32 Lebenthal-Bendor Y, Theuer R C, Lebenthal A, et al. Malabsorption of modified food starch (acetylated distarch phosphate) in normal infants and in 8-24-month-old toddlers with non-specific diarrhea, as influenced by sorbitol and fructose[J]. Acta Paediatrica, 2001, 90(12): 1 368~1 372.
- 33 Islam M S, Sakaguchi E, Kashima N, et al. Effect of sugar alcohols on gut function and body composition in normal and cecectomizedrats[J]. Experimental Animals, 2004, 53(4): 361~371.
- 34 Sairanen U, Piirainen L, Nevala R, et al. Yoghurt containing galacto-oligosaccharides, prunesand linseed reduces the severity of mild constipation in elderly subjects[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2007, 61(12): 1 423~1 428.
- 35 Piirainen L, Peuhkuri K, Bäckström K, et al. Prune juice has a mild laxative effect in adults with certain gastrointestinal symptoms[J]. Nutrition Research, 2007, 27(8): 511~513.
- 36 Attaluri A, Donahoe R, Valestin J, et al. Randomised clinical trial: dried plums (prunes) vs. psyllium for constipation[J]. Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 2011, 33(7): 822~828.
- 37 Hooshmand S, Arjmandi B H. Viewpoint: dried plum, an emerging functional food that may effectively improve bone health [J]. Ageing Research Reviews, 2009, 8(2): 122~127.
- 38 Arjmandi B H, Lucas E A, Juma S, et al. Dried plums prevent ovariectomy-induced bone loss in rats[J]. JANA, 2001, 4(1): 50~56.
- 39 Smith B J, Bu So-young, Wang Yan, et al. A comparative study of the bone metabolic response to dried plum supplementation and PTH treatment in adult, osteopenic ovariectomizedrat[J]. Bone, 2014, 58: 151~159.
- 40 Deyhim F, Stoecker B J, Brusewitz G H, et al. Dried plum reverses bone loss in an osteopenic rat model of osteoporosis[J]. Menopause, 2005, 12(6): 755~762.
- 41 Rendina E, Lim Y F, Marlow D, et al. Dietary supplementation with dried plum prevents ovariectomy-induced bone loss while modulating the immune response in C57BL/6J mice[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2012, 23(1): 60~68.
- 42 Bu So-young, Lucas E A, Franklin M, et al. Comparison of dried plum supplementation and intermittent PTH in restoring bone in osteopenic orchidectomizedrats[J]. Osteoporosis International, 2007, 18(7): 931~942.
- 43 Franklin M, Bu So-young, Lerner M R, et al. Dried plum prevents bone loss in a male osteoporosis model via IGF-I and the RANK pathway[J]. Bone, 2006, 39(6): 1 331~1 342.
- 44 Halloran B P, Wronski T J, VonHerzen D C, et al. Dietary dried plum increases bone mass in adult and aged male mice[J]. The Journal of Nutrition, 2010, 140(10): 1 781~1 787.
- 45 Arjmandi B H, Khalil D A, Lucas E A, et al. Dried plums improve indices of bone formation in postmenopausal women[J]. Journal of Women's Health & Gender-based Medicine, 2002, 11(1): 61~68.
- 46 Hooshmand S, Chai S C, Saadat R L, et al. Comparative effects of dried plum and dried apple on bone in postmenopausal women [J]. British Journal of Nutrition, 2011, 106(6): 923~930.
- 47 Basu S, Michaëlsson K, Olofsson H, et al. Association between oxidative stress and bone mineral density[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2001, 288(1): 275~279.
- 48 Naghii M R, Torkaman G, Mofid M. Effects of boron and calcium supplementation on mechanical properties of bone in rats[J]. Biofactors, 2006, 28(3/4): 195~201.
- 49 Gallardo-Williams M T, Maronpot R R, Turner C H, et al. Effects of boric acid supplementation on bone histomorphometry, metabolism, and biomechanical properties in aged female F-344 rats[J]. Biological Trace Element Research, 2003, 93(1/2/3): 155~169.
- 50 Zwart S R, Hargens A R, Smith S M. The ratio of animal protein intake to potassium intake is a predictor of bone resorption in space flight analogues and in ambulatory subjects[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2004, 80(4): 1 058~1 065.
- 51 Iwamoto J, Takeda T, Sato Y. Effects of vitamin K2 on osteoporosis[J]. Current Pharmaceutical Design, 2004, 10(21): 2 557~2 576.