

荷叶活性物质提取工艺与抗氧化活性研究^{*}

江慎华^{1,2} 马海乐² 王昌禄³ 王振斌² 李永转² 廖亮¹

(1. 九江学院生命科学学院, 九江 332000; 2. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013;

3. 天津科技大学教育部食品营养与安全重点实验室, 天津 300457)

【摘要】 对荷叶活性物质提取工艺与抗氧化活性进行了研究。结果表明, 荷叶抗氧化活性物质最佳提取工艺为提取时间 50 min、提取温度 80℃、乙醇体积分数 60% 和料液比 1:20; 采用生物活性追踪法研究发现, 在极性依次增大的正己烷、乙酸乙酯、正丁醇和水相 4 个极性萃取组分中, 乙酸乙酯萃取组分抗氧化活性(总还原力、FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力)最强并具有显著性差异($P < 0.001$ 或 $P < 0.01$); 通过验证试验发现该组分抗氧化能力(OD593 和 DPPH 自由基清除率)均显著高于阳性对照 BHT 和 GBE($P < 0.05$)。

关键词: 荷叶 抗氧化活性 提取工艺 生物活性追踪法

中图分类号: TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0141-06

Extracting Technology and Antioxidant Activity of Bioactive Components from Lotus Leaf

Jiang Shenhua^{1,2} Ma Haile² Wang Changlu³ Wang Zhenbin² Li Yongzhuan² Liao Liang¹

(1. College of Life Science, Jiujiang University, Jiujiang 332000, China 2. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 3. Key Laboratory of Food Nutrition and Safety,

Ministry of Education, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract

The extracting technology and antioxidant activities of lotus leaf were studied. The results showed that the optimal parameters of the extracting technology were the extracting time was 50 min, the extracting temperature was 80℃, the concentration of ethanol was 60% and the ratio of sample to extracting solution was 1:20. The ethyl acetate fraction possessed the strongest antioxidant activities ($P < 0.001$ or $P < 0.01$), i. e., the reducing power, FRAP value and DPPH radicals scavenging capacity among the four increasing polar fractions (hexane, ethyl acetate, butanol and aqueous fractions) through the bio-assay guided method. The OD593 values and DPPH radicals scavenging capacities of this fraction were better than those of the positive controls of BHT and GBE ($P < 0.05$) through the experiments of verification.

Key words Lotus leaf, Antioxidant activity, Extracting technology, Bioassay guided method

引言

荷叶为莲(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)的叶片, 资源丰富、产量巨大。近年来, 国内外具有较多关于荷

叶活性物质提取工艺及其药理活性等方面的相关研究报道^[1-8]。但是, 对荷叶抗氧化活性物质提取工艺与采用生物活性追踪法对其抗氧化活性及其物质基础进行追踪未发现有关研究报道。本文以

收稿日期: 2009-11-27 修回日期: 2009-12-11

^{*}“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD27B06)、江苏大学高级专业人才科研启动基金项目(09JDC023)、江苏大学学生科研项目(07A066、07A067)和江苏大学大学生实践创新训练计划资助项目(2009072)

作者简介: 江慎华, 讲师, 江苏大学博士后, 主要从事食品营养学和功能性食品研究, E-mail: jiangshenhua@yaho. com. cn

通讯作者: 廖亮, 教授, 博士生导师, 主要从事植物学研究, E-mail: liaol58@yaho. com. cn

FRAP(ferric-reducing antioxidant power)值作为评价指标对该物质的提取工艺及采用生物活性追踪法对其抗氧化活性进行了研究,以期为深入研究荷叶抗氧化活性的主要物质基础提供参考。

1 材料与方 法

1.1 化学试剂

三吡啶三吡嗪(tripyridyl triazine,简称 TPTZ)、DPPH 购自 Sigma 公司,其余化学试剂均为国产分析纯。

1.2 试验材料

荷叶,购自江苏省镇江市,产地山东。购回后立

即粉碎、过 40 目筛,测得含水率为 9.97% 后置冰箱中备用。银杏叶提取物(GBE)购自徐州康瑞莱生物制品有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 单因素试验

称取 5 g 荷叶粉,分别采用表 1 所示因素、水平进行单因素试验,提取液合并定容成(料液比单因素试验除外)统一体积、稀释至适当的程度后采用 FRAP 法进行提取率的测定。其中,料液比是指荷叶粉质量(g)与乙醇体积(mL)的比例。

1.3.2 正交试验

以单因素试验结果为参考,设计四因素三水平

表 1 荷叶抗氧化活性物质提取单因素试验

Tab.1 Univariate experiments for extracting antioxidants from the lotus leaf

提取因素	因素水平	提取条件
乙醇体积分数/ %	0、20、40、60、80、100	1:10 料液比、60℃、100 r/min 水浴振荡提取 3 次(60、30、30 min)
提取次数	1、2、3、4	1:10 料液比、60% 乙醇、60℃、100 r/min 水浴振荡提取 1~4 次(60、30、30 和 30 min)
提取时间/ min	20、30、40、50、60	1:10 料液比、60% 乙醇、60℃、100 r/min 水浴振荡提取 3 次
提取温度/℃	20、30、40、50、60、70、80、90	1:10 料液比、60% 乙醇、100 r/min 水浴振荡提取 3 次(60、30、30 min)
料液比	1:5、1:10、1:15、1:20、1:30、1:50	60℃、60% 乙醇、100 r/min 水浴振荡提取 3 次(60、30、30 min)

($L_9(3^4)$)正交试验,其因素水平如表 2 所示,试验重复 3 次,以抗氧化活性物质提取率为指标。

表 2 荷叶抗氧化活性物质提取正交试验因素水平

Tab.2 Design method of orthogonal experiments for extracting antioxidants from the lotus leaf

水平	因素			
	提取时间 A /min	提取温度 B /℃	料液比 C	乙醇体积分 数 D/ %
1	40	60	1:10	40
2	50	70	1:15	60
3	60	80	1:20	80

1.3.3 荷叶粗提物抗氧化活性

称取 63.66 g 荷叶粉,采用正交试验确定的提取工艺提取 3 次,提取液合并浓缩至粘稠后用水超声助溶至混悬液后上大孔吸附树脂 AB-8 层析柱。采用大量蒸馏水洗去多糖等水溶性杂质至流出液澄清,再采用 60% 乙醇洗脱至流出液与三氯化铁溶液混合后不变色为止,将洗脱液浓缩后冷冻干燥获得 2.3 g 荷叶抗氧化活性物质粗提物干粉。将该粗提物配制成质量浓度为 50、100 和 150 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的样液,以相同质量浓度的 GBE、BHT 和维生素 C 作为阳性对照,分别进行 FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力的测定。采用文献[9]方法测定样品

FRAP 抗氧化能力。采用文献[10]方法测定样品 DPPH 自由基清除能力。

1.3.4 生物活性追踪

采用文献[11]方法,称取一定量荷叶粉末样品,采用正交试验获得的最佳提取工艺提取 3 次,提取液合并浓缩至适当的浓度后加入一定体积的蒸馏水,超声辅助溶解至悬浊液后分别采用极性逐渐增大的正己烷、乙酸乙酯和正丁醇依次萃取,最后水萃取剩余组分。4 个不同样品分别旋转浓缩、真空干燥后冷冻干燥获得正己烷、乙酸乙酯、正丁醇和水萃取组分干粉,将干粉配制成质量浓度 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的样品分别进行总还原力、FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力的测定,以追踪荷叶抗氧化活性物质的来源和初步物质基础。

为了了解和分析荷叶各极性萃取组分抗氧化活性的物质基础,对这些组分的总黄酮和总多酚含量进行了测定。采用文献[12]方法测定样品总还原力。采用文献[13]方法测定样品总黄酮、总多酚含量。

1.3.5 乙酸乙酯萃取组分抗氧化能力初步分析

为了对活性追踪获得的荷叶乙酸乙酯萃取组分的抗氧化能力进行验证和分析,采用相同质量浓度的 GBE、BHT 和维生素 C 作为阳性对照,分别进行 FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力的测

试,以进一步验证荷叶的抗氧化能力。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

当乙醇体积分数为 0、20%、40%、60%、80% 和 100% 时抗氧化活性物质提取率分别为 205.92、300.24、366.72、383.52、318.00 和 98.88 $\mu\text{mol/g}$ 。由此结果可以看出,在 0~60% 的体积分数范围内提取率逐渐升高,60% 乙醇提取率最高。当体积分数高于 60% 以后随着体积分数的继续升高提取率逐渐下降。这主要由于 40%、60% 和 80% 乙醇对水溶性和脂溶性物质均具有较好的溶解性,故采用这 3 个体积分数作下一步正交试验。

提取温度为 20、30、40、50、60、70、80 和 90 $^{\circ}\text{C}$ 时所对应提取率分别为 340.2、370.13、395.1、393.98、418.95、439.65、420.98 和 420.08 $\mu\text{mol/g}$ 。该结果表明,在 20~70 $^{\circ}\text{C}$ 范围内随着温度的升高提取率逐渐升高,70 $^{\circ}\text{C}$ 时提取率最高。超过 70 $^{\circ}\text{C}$ 后提取率反而缓慢下降。这主要由于起初随着温度的升高传质效率逐渐升高,但当温度高于 70 $^{\circ}\text{C}$ 以后对热敏性物质的抗氧化活性影响较大,故选定 60、70 和 80 $^{\circ}\text{C}$ 作下一步的正交试验。

提取时间为 10、30、40、50 和 60 min 时所对应的提取率分别为 393.36、432、437.04、457.68 和 442.32 $\mu\text{mol/g}$ 。可以看出,提取 50 min 时提取率最高。这可能由于在 10~50 min 范围内随着时间的延长抗氧化活性物质溶出量逐渐增加,但当提取时间再延长时,一些对温度较为敏感的物质逐渐降低了活性的缘故,因此选 40、50、60 min 作下一步的正交试验。

提取 1~4 次所对应的提取率分别为 278.1、365.85、408.04 和 419.51 $\mu\text{mol/g}$ 。从这些结果可以看出,随着提取次数的增加提取率逐渐增加,前 3 次的提取率增加明显,当提取到第 4 次时提取率增加非常缓慢。正交试验选定提取次数为 3。

当料液比为 1:5、1:10、1:15、1:20、1:30 和 1:50 时所对应的提取率分别为 304.95、454.2、465.3、492.6、536.4 和 556.5 $\mu\text{mol/g}$ 。由这些试验结果可知,随着料液比的减小提取率逐渐增加。但随着料液比的减小提取成本同时会急剧增加,故选定 1:10、1:15 和 1:20 作正交试验。

2.2 正交试验

根据单因素的试验结果所确定的因素和水平进行四因素三水平的正交试验结果如表 3 所示。由该表可以看出,影响荷叶抗氧化活性物质提取率因素从大到小的顺序依次是提取时间、乙醇体积分数、料

液比和提取温度,最佳提取工艺为提取时间 50 min、提取温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 、料液比 1:20 和乙醇体积分数 60%。

表 3 荷叶抗氧化活性物质提取工艺正交试验结果

Tab.3 Orthogonal experiments for extracting antioxidants from the lotus leaf

试验 序号	A	B	C	D	抗氧化活性 物质提取率
					/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$
1	1	1	1	1	285.60 ± 26.91
2	1	2	2	2	336.60 ± 32.31
3	1	3	3	3	367.80 ± 19.46
4	2	1	2	3	369.60 ± 25.45
5	2	2	3	1	375.20 ± 21.21
6	2	3	1	2	388.50 ± 16.97
7	3	1	3	2	332.40 ± 44.12
8	3	2	1	3	318.00 ± 59.39
9	3	3	2	1	302.40 ± 35.64
k_1	330.00	329.20	330.70	321.10	
k_2	377.77	343.27	336.20	352.50	
k_3	317.60	352.90	358.47	351.80	
因素主次	A、D、C、B				
极差 R	60.17	23.70	27.77	31.43	
优方案	A_2	B_3	C_3	D_2	

2.3 荷叶粗提物抗氧化活性试验

银杏叶提取物 (GBE) 已被 Di Mambro Valéria M 等^[14] 证明具有较好的抗氧化活性,维生素 C 和 BHT 具有较强的体外抗氧化能力,被广泛用作评价天然提取物体外抗氧化能力的阳性对照^[11、15-16]。本文采用以上 3 种样品作为阳性对照。根据 1.3.4 节的方法测定获得荷叶粗提物 FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力的试验结果如表 4 所示。可以看出,在 50~150 $\mu\text{g/mL}$ 的质量浓度范围内,4 种样品的抗氧化活性均随着质量浓度的增大而升高,呈现出明显的剂量依赖性关系。相比于 3 个阳性对照,荷叶粗提物的 FRAP 法抗氧化能力均显著性高于 GBE 和 BHT,但低于维生素 C ($P < 0.001$)。4 种样品 FRAP 法抗氧化能力从大到小的排列顺序为维生素 C、荷叶粗提物、BHT、GBE (表中 OD593 指的是采用 FRAP 法评价抗氧化能力时在 593 nm 处测定的吸光度)。

如表 4 所示,在 50~150 $\mu\text{g/mL}$ 的质量浓度范围内,4 种样品的 DPPH 自由基清除率均随着质量浓度的增大而缓慢升高。与 FRAP 法抗氧化能力的测定结果相似,荷叶粗提物均显示出比 GBE 和 BHT 强的自由基清除效果,但仍然弱于维生素 C ($P <$

0.05)。Hutadilok-Towatana N 等^[17]通过研究发现荷叶甲醇提取物具有很强的 DPPH 自由基清除能力,但该提取物对 DPPH 自由基的清除率要明显弱

于阳性对照 BHT,这可能主要由于本试验对荷叶提取物通过大孔吸附树脂进行了分离和纯化,使得抗氧化活性物质得到了较好的浓缩。

表 4 荷叶粗提物抗氧化能力的测定结果

Tab.4 Antioxidant activities of the crude extracts from the lotus leaf

质量浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	抗氧化 活性	样品				显著性 水平
		荷叶粗提物	GBE	BHT	维生素 C	
50	FRAP 法抗氧化 能力 (OD593)	0.375 ± 0.022^b	0.132 ± 0.004^d	0.257 ± 0.008^c	0.801 ± 0.032^a	$P < 0.001$
100		0.715 ± 0.012^b	0.289 ± 0.041^d	0.434 ± 0.020^c	1.621 ± 0.019^a	
150		1.059 ± 0.013^b	0.423 ± 0.007^d	0.502 ± 0.022^c	2.122 ± 0.027^a	
50	DPPH 自由基 清除率 / %	69.294 ± 1.830^b	26.235 ± 0.832^d	65.765 ± 1.165^c	84.353 ± 0.166^a	$P < 0.05$
100		72.353 ± 0.166^b	56.353 ± 0.166^d	68.353 ± 0.499^c	94.706 ± 1.165^a	
150		75.765 ± 0^b	70.588 ± 0.666^b	66.353 ± 0.666^d	95.294 ± 0.333^a	

注:表中相同行不同字母表示各样品之间存在显著性差异。

通过与阳性对照 GBE(混合粗提物)和 BHT(分析纯)相比可以发现,荷叶粗提物显示出较强的抗氧化能力,如果进一步提高其纯度,其抗氧化活性有望与维生素 C 相媲美。

2.4 荷叶抗氧化能力活性追踪结果

分别采用总还原力、FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力作为评价指标,采用生物活性追踪法对荷叶抗氧化能力的追踪结果如表 5 所示。由该表可见,在荷叶极性依次增大的 4 个不同萃取组分中,均以弱极性的乙酸乙酯萃取组分活性

最强,极性的正丁醇萃取组分次之,4 个不同萃取组分抗氧化能力从大到小的排列顺序完全相同,依次为乙酸乙酯萃取组分、正丁醇萃取组分、正己烷萃取组分、水萃取组分($P < 0.001$ 或 $P < 0.01$)。活性追踪的研究结果表明,荷叶抗氧化活性最强的物质主要存在于乙酸乙酯萃取组分,主要由弱极性的小分子有机化合物所组成。文献[18~19]采用类似的生物活性追踪法对紫莉花和夔麦的研究发现,这两种植物抗氧化活性最强的物质也存在于弱极性的乙酸乙酯萃取组分。

表 5 荷叶抗氧化能力追踪试验结果

Tab.5 Antioxidant results of the lotus leaf based on bio-assay guided method

抗氧化活性	样品				显著性水平
	正己烷相	乙酸乙酯相	正丁醇相	水相	
OD700	0.110 ± 0.005^c	0.318 ± 0.004^a	0.18 ± 0.004^b	0.037 ± 0.003^d	$P < 0.001$
OD593	0.193 ± 0.006^c	0.571 ± 0.013^a	0.288 ± 0.003^b	0.057 ± 0.018^d	$P < 0.01$
DPPH 自由基清除率 / %	39.161 ± 0^c	69.755 ± 0.742^a	46.853 ± 2.472^b	18.007 ± 0.247^d	$P < 0.01$

注:表中相同行不同字母表示各样品之间存在显著性差异。

总黄酮和总多酚被认为是植物主要的抗氧化活性物质基础^[16]。为了进一步了解荷叶抗氧化活性的物质基础,对不同极性萃取组分的总黄酮和总多酚含量进行了测定,其结果如表 6 所示。由该表可见,不同极性萃取组分总黄酮和总多酚含量存在较大的差别,均以乙酸乙酯萃取组分的含量最高($(894.45 \pm 41.75) \text{ mg/g}$ 和 $(320.74 \pm 3.67) \text{ mg/g}$)。总黄酮含量从大到小的排列顺序为乙酸乙酯萃取组分、正己烷萃取组分、正丁醇萃取组分、水萃取组分,而总多酚含量从大到小的排列顺序为乙酸乙酯萃取组分、正丁醇萃取组分、正己烷萃取组分、水萃取组分,后者排列顺序与文献[11]测定香椿 4 个不同极

性萃取组分的总多酚含量排列顺序一样。

表 6 荷叶不同极性萃取组分总黄酮、总多酚含量

Tab.6 Total flavonoid and polyphenol contents of different polar subfractions from the lotus leaf mg/g

组分	总黄酮含量	总多酚含量
正己烷萃取组分	623.24 ± 14.15^b	163.75 ± 2.58^b
乙酸乙酯萃取组分	894.45 ± 41.75^a	320.74 ± 3.67^a
正丁醇萃取组分	435.36 ± 8.95^c	317.88 ± 1.50^a
水萃取组分	62.03 ± 3.19^d	140.31 ± 2.04^c

注:表中相同列不同字母表示具有极其显著性差异($P < 0.001$)。

2.5 荷叶乙酸乙酯萃取组分抗氧化能力验证

根据 2.4 节的试验结果得知荷叶抗氧化活性最强的物质主要存在于弱极性的乙酸乙酯萃取组分, 于是采用 GBE、维生素 C 和 BHT 作为阳性对照, 采用 FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率对该组分的抗氧化活性进行了相应的验证, 其试验结果如表 7 所示。由该表可知, 荷叶乙酸乙酯萃取组分质量浓度为 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 样液的 OD593 分别为 0.290 ± 0.021 和 0.600 ± 0.011 , 尽管比维生素 C 的 OD593 低 ($P < 0.05$), 但却显著性高于另外两个阳性对照 BHT 和 GBE ($P < 0.05$)。维生素 C 具有很强的 FRAP 法抗氧化能力, 文献[11]在研究香椿的抗氧化特性时也发现香椿乙酸乙酯萃取组分的 OD593 要弱于维生素 C ($P < 0.05$)。由此可知,

荷叶所对应活性萃取组分的强抗氧化能力得到了初步验证。

由该组分 DPPH 自由基清除能力的测试结果可知, 在质量浓度为 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 荷叶乙酸乙酯萃取组分的清除率 ($(71.693 \pm 0.175)\%$) 最高, 甚至高于维生素 C ($(64.524 \pm 3.671)\%$), 但无显著性差异 ($P > 0.05$), 明显高于另外两个阳性对照 BHT 和 GBE ($P < 0.05$)。当质量浓度上升至 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 乙酸乙酯萃取组分的清除率 ($(72.188 \pm 0.874)\%$) 尽管比维生素 C ($(77.874 \pm 0.524)\%$) 低 ($P < 0.05$), 但仍然显著高于 BHT 和 GBE ($P < 0.05$)。文献[11, 15]在采用相同的方法追踪香椿和黑灵芝抗氧化活性物质时也发现了类似的研究结果。

表 7 荷叶乙酸乙酯萃取组分抗氧化活性的验证

Tab. 7 Antioxidant verification of ethyl acetate fraction of the lotus leaf

质量浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	抗氧化活性	样品			
		BHT	乙酸乙酯相	GBE	维生素 C
50	OD593	0.222 ± 0.015^c	0.290 ± 0.021^b	0.075 ± 0.022^d	0.405 ± 0.001^a
100		0.434 ± 0.005^c	0.600 ± 0.011^b	0.172 ± 0.011^d	0.754 ± 0.006^a
50	DPPH 自由基清除率/%	44.994 ± 4.160^b	71.693 ± 0.175^a	1.607 ± 0.350^c	64.524 ± 3.671^{ab}
100		61.434 ± 0.699^c	72.188 ± 0.874^b	31.644 ± 3.671^d	77.874 ± 0.524^a

注: 表中相同行不同字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

3 结论

(1) 荷叶抗氧化活性物质的最佳提取工艺为提取时间 50 min、提取温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 、乙醇体积分数 60% 和料液比 1:20。

(2) 通过初步柱层析获得的荷叶粗提物显示出比阳性对照 BHT 和 GBE 具有更强的抗氧化能力。

(3) 通过对荷叶抗氧化能力的活性追踪发现, 在极性依次增大的 4 个不同萃取组分中, 其弱极性的乙酸乙酯萃取组分抗氧化能力最强。

(4) 通过验证试验发现, 荷叶乙酸乙酯萃取组分 FRAP 法抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力均显著高于阳性对照 BHT 和 GBE。

参 考 文 献

- 靳素荣, 邢少青, 胡中立, 等. 微波提取荷叶多酚工艺研究 [J]. 食品科技, 2008(8): 147 ~ 149.
Jin Surong, Xing Shaoqing, Hu Zhongli, et al. Research on the extraction of polyphenols from lotus leaf by microwave [J]. Food Science and Technology, 2008(8): 147 ~ 149. (in Chinese)
- 蒋益虹. 荷叶生物碱的提取工艺优化 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30(5): 519 ~ 523.
Jiang Yihong. Study on optimization of technology for extracting alkaloid from lotus leaf [J]. Journal of Zhejiang University: Agricultural & Life Science, 2004, 30(5): 519 ~ 523. (in Chinese)
- 蒋益虹. 荷叶黄酮的乙醇提取工艺优化研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 168 ~ 171.
Jiang Yihong. Optimum extracting technology of flavonoids in lotus leaves with ethanol [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(4): 168 ~ 171. (in Chinese)
- Wu M J, Wang L, Weng C Y, et al. Antioxidant activity of methanol extract of the lotus leaf (*Nelumbo nucifera* Gaertn) [J]. The American Journal of Chinese Medicine, 2003, 31(5): 687 ~ 698.
- Heo B G, Park Y S, Hou W N, et al. In vitro assay on physiological activities of flower and leaf extracts of red lotus [J]. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 2008, 26(3): 331 ~ 337.
- Park C H, Hur J M, Song K S, et al. Phenolic compounds from the leaves of *Nelumbo nucifera* showing DPPH radical

- scavenging effect [J]. Korean Journal of Pharmacognosy, 2007, 38: 263 ~ 269.
- 7 Jung H A, Jung Y J, Yoon N Y, et al. Inhibitory effects of Nelumbo nucifera leaves on rat lens aldose reductase, advanced glycation endproducts formation, and oxidative stress [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(12): 3 818 ~ 3 826.
 - 8 Cho E J, Yokozawa T, Rhyu D Y, et al. Study on the inhibitory effects of Korean medicinal plants and their main compounds on the 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical [J]. Phytomedicine, 2003, 10(6 ~ 7): 544 ~ 551.
 - 9 Wijngaard H H, Rößle C, Brunton N. A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 202 ~ 207.
 - 10 Lai P, Li K Y, Lu S, et al. Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from Japonica rice bran [J]. Food Chemistry, 2009, 117(3): 538 ~ 544.
 - 11 Jiang S H, Wang C L, Chen Z Q, et al. Antioxidant properties of the extract and subfractions from old leaves of *Toona sinensis* roem (meliaceae) [J]. Journal of Food Biochemistry, 2009, 33(3): 425 ~ 441.
 - 12 Liang C H, Syu J L, Mau J L. Antioxidant properties of solid-state fermented adlay and rice by *Phellinus linteus* [J]. Food Chemistry, 2009, 116(4): 841 ~ 845.
 - 13 Bakar M F A, Mohamed M, Rahmat A, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479 ~ 483.
 - 14 Di Mambro Valéria M, Fonseca Maria J V. Assays of physical stability and antioxidant activity of a topical formulation added with different plant extracts [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2005, 37(2): 287 ~ 295.
 - 15 Chen Y, Xie M Y, Nie S P, et al. Purification, composition analysis and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of *Ganoderma atrum* [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 231 ~ 241.
 - 16 Yang J X, Guo J, Yuan J F. In vitro antioxidant properties of rutin [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(6): 1 060 ~ 1 066.
 - 17 Hutadilok-Tawatana N, Chaiyaputti P, Panthong K, et al. Antioxidative and free radical scavenging activities of some plants used in Thai folk medicine [J]. Pharmaceutical Biology, 2006, 44(3): 221 ~ 228.
 - 18 Chen F A, Wu A B, Shieh P, et al. Evaluation of the antioxidant activity of *Ruellia tuberosa* [J]. Food Chemistry, 2006, 94(1): 14 ~ 18.
 - 19 Yu J O, Liao Z X, Lei J C, et al. Antioxidant and cytotoxic activities of various fractions of ethanol extract of *Dianthus superbus* [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 215 ~ 1 219.

(上接第 156 页)

规划航道、计算农田面积、实时显示飞行轨迹和语音提示等功能。受到飞机高速运动的影响,定位数据存在滞后,文中采用最小二乘法对高速运动下的

GPS 数据进行了实时预测,仿真结果表明最小二乘法预测有效地减小了数据延迟。需要指出的是,非差单点 GPS 定位精度有限,如果条件允许,也可以采用 DGPS 来提高定位精度。

参 考 文 献

- 1 王壬林,宋凝芳.差分 GPS 技术在农业飞防导航中的应用[J].战略导弹控制技术,2001,35(4):19 ~ 23.
- 2 李灿云,刘国龙.飞播造林中 GPSMAS 导航与应用[J].林业调查规划,2004,29(2):29 ~ 33.
Li Canyon, Liu Guolong. GPSMAS navigation and application in the afforestation of aerial seeding [J]. Forest Inventory and Planning, 2004, 29(2): 29 ~ 33. (in Chinese)
- 3 卢之慧,沈明霞,姬长英.嵌入式 GPS 技术的农用飞机作业航线及边界规划[J].安徽农业科学,2009,37(8):3 819 ~ 3 820,3 823.
Lu Zhihui, Shen Mingxia, Ji Changying. Channel planning and border algorithm in agricultural aircraft operating based on embedded and GPS technology [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8): 3 819 ~ 3 820, 3 823. (in Chinese)
- 4 魏许青.计算多边形交集、并集的算法[J].计算机工程与科学,2007,29(12):85 ~ 86.
Wei Xuqing. An algorithm for evaluating the area of the overlap or the union of polygons [J]. Computer Engineering & Science, 2007, 29(12): 85 ~ 86. (in Chinese)
- 5 罗兆文,张沛,王文,等.基于 GPS 的飞机航迹预测方法研究[J].海洋测绘,2009,29(2):35 ~ 38.
Luo Zhaowen, Zhang Pei, Wang Wen, et al. Research on the prediction method of the airplane trajectory base on GPS [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2009, 29(2): 35 ~ 38. (in Chinese)