

산·학·연 논문

홍경천(*Rhodiola sachalinensis*) 뿌리의 식품학적 성분 및 휘발성 향기성분

이은정¹ · 임지순^{1*} · 박채규² · 전병선² · 김석창²

¹건양대학교 식품생명공학과
²KT&G 중앙연구원 제품개발부

Food Components and Volatile Flavors in *Rhodiola sachalinensis* Roots

Eun Jung Lee¹, Ji Soon Im^{1*}, Chae Kyu Park², Byeong Seon Jeon² and Suk Chang Kim²

¹Dept. of Food Science and Biotechnology, Konyang University, Chungnam 320-711, Korea
²KT&G Central Research Institute, Daejeon 305-805, Korea

서 론

홍경천(*Rhodiola sachalinensis*)은 고산지대에서 자라는 다년생 초본식물로서 식물분류상 피자식물문(Angiospermae) 돌나물과(Crassulacae) 돌꽃(*Rhodiola*)에 종속한다. 돌꽃에 속하는 식물은 전 세계에 96종이 있는데 중국에 50%가 서식한다. 온도가 낮고 건조하며 산소가 적고 강한 자외선이 비치며 낮과 밤의 온도 차이가 큰 해발 1,700~2,300 m의 약조건에서 생존할 수 있는 특수한 적응성을 가지고 있다. 또한 인삼과 가시오갈피 이후에 발견된 약용식물의 일종으로서 원기를 회복시키고 질병과 독을 극복하고 장수하게 할 수 있어 “고원인삼”이라는 별칭을 가지고 있다(1). 홍경천에 함유되어 있는 약리적으로 중요한 성분으로는 salidroside, p-tyrosol, flavonoid, monoterpene glycoside, cyanoglycoside, penthyl glycoside, aliphatic glycoside, phenylpropanoid, proanthocyanidin 등이 있다(2,3). 주요 효능으로는 원기회복, 주의력증강, 노화억제, 정상혈압회복, 기억력증진, 각종 과민증 예방, 관상동맥 질환예방, 당뇨병 예방, 각혈, 해열, 폐렴, 화상 등에 유효한 것으로 알려져 있다(4,5). 특히 임상연구에 의하면 홍경천은 산소결핍, 한냉, 피로, 마이크로파의 복사 등을 극복하는데 뚜렷한 효능을 가지고 있을 뿐만 아니라, 주의력을 증강시키며 사업효율을 높이고 신체의 노화를 연장시키며 노인병을 예방하는 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(6,7). 현재까지 진행된 홍경천의 생리활성에 대한 연구로는 알코올 흡수억제효과(8), 항알리지 효과(9), 항산화효과(10) 등이 있다고 보고되었고, 항부정맥에 현저한 예방효과가 있고(11) 학습력과 기억력을 개선시킨다는 보

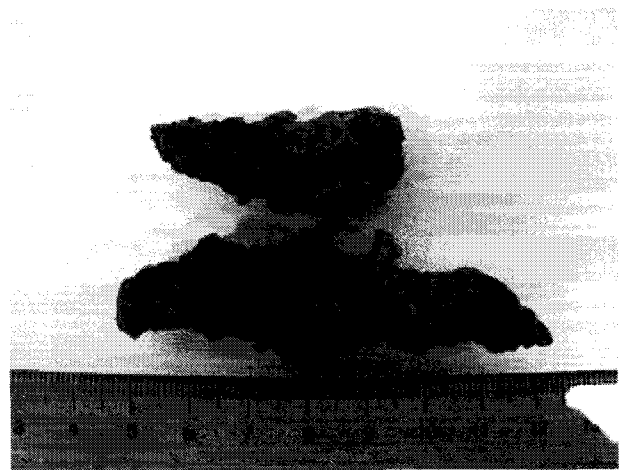
고가 있다(12).

현재 국내외적으로 약초로부터 기능성 성분의 소재를 발굴하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 홍경천에 대한 식품학적 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 홍경천의 성분을 분석하여 식품학적 특성을 검토하고 식품 또는 한약소재로서의 기초자료로 활용할 수 있도록 하기 위해 일반성분, 유리당, 아미노산, 지방산, 무기질, 휘발성 향기성분 등을 조사하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 홍경천(*Rhodiola sachalinensis*, Fig. 1)



(Dried root)

Fig. 1. Photograph of *Rhodiola sachalinensis* roots.

*Corresponding author. E-mail: imjst@konyang.ac.kr
Phone: 041-730-5156, Fax: 041-736-4078

은 백두산에서 자생하는 것으로 중국에서 건조품을 구입하여 세절한 후 분쇄기로 30 mesh 이하로 분쇄하여 사용하였다.

일반성분

일반성분은 AOAC(13) 방법에 준하여 분석하였다. 즉, 수분은 105°C 건조법, 회분은 550°C 직접 회화법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조단백질은 microkjeldal 법으로 Buchii사 (Switzerland)의 Model 435 Digestor로 분해하여 Model 339 N₂ distillation unit로 조단백질 함량을 구하였으며, 환원당은 glucose를 표준물질로 하여 DNS 방법(14)으로 정량하였다.

유리당

유리당 함량은 시료 3 g에 80% methanol 100 mL을 가하여 80°C 수욕상에 환류법으로 2시간씩 3회 추출 여과하여 rotary evaporator로 80°C 이하에서 감압농축하고, 증류수 50 mL에 용해시킨 다음 diethyl ether로 추출 분획하여 탈지시킨 후 수층을 수포화 n-butanol로 2회 추출 분획하여 butanol층을 제거시킨 후 수층을 농축하고 50% methanol 5 mL에 녹여 0.45 µm membrane filter(millipore)로 여과한 후 HPLC(Waters 600, USA)로 분석하였다. 분석 조건으로 column은 Lichrosorb NH₂(Merck Co., 5 µm, 25 × 0.4 cm ID)을 사용하였고, mobile phase와 flow rate는 acetonitrile / water(80 : 20)와 1.5 mL/min로 하였으며, chart speed와 detector는 0.5 cm와 RI-410 Differential refractometer를 사용하였고, attenuation과 injection volume은 ×64와 20 µL로 정량하였다(15).

구성아미노산

홍경천의 구성아미노산 분석은 홍경천분말 250 mg을 칭량하여 ampoule에 넣은 후 6 N HCl 10 mL를 가하고 질소 가스로 충전시킨 뒤 진공상태에서 밀봉한 후 110 ± 1°C에서 22시간 가수분해한 다음, 감압농축한 뒤 pH 2.2의 sodium citrate buffer 3 mL에 용해한 후 0.2 µm(millipore filter)로 여과하였다. 여액 1 mL을 취하여 미리 activation 시킨 sep pak C₁₈ cartridge를 통과시켜 아미노산 자동분석기를 이용하여 분석하였다(16).

지방산

조지방 추출은 분쇄된 시료를 원통여지(Whatman cat No. 2800260)에 넣고 에틸에테르를 가하여 Soxhlet 추출법으로 약 16시간 추출한 다음 추출물을 감압 농축시켜 중량법으로 함량을 측정하였다. 지방산 분석은 상기와 같이 추출하여 얻은 조지방질 약 200 mg을 취하여 Metcalf

등(17)의 방법에 준하여 0.5 N-NaOH / methanol로 가수분해시킨 후 boron trifluoride-methanol을 가하여 methyl ester화시킨 다음 GLC로 분석하였으며, 지방산 표준품은 Sigma의 fatty acid methyl ester 표준품을 사용하였다. 이 때 사용한 GC는 Hewlett packard 3396 series II integrator를 사용하였다. GLC칼럼은 SP-2340 (30 m × 0.25 mm ID) fused silica capillary column을 사용하였고, 오븐 온도는 160°C에서 3분간 유지시킨 후 3°C/min씩 승온시킨 다음 220°C에서 10분간 유지시켜 분석하였다. GC의 주입구 및 검출기(FID)의 온도는 240°C 및 250°C로 하였고, 운반기체는 질소 가스를 0.8 mL/min로 하여 split mode (split ratio = 60 : 1)로 주입 분석하였다.

무기성분

시료 2 g을 직접회화법(15)으로 550°C에서 10시간 회화시킨 다음 10% 염산으로 용해하여 여과(Whatman No. 41)하여 inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer(Leeman Labs, Inc., Model: PS Spec, Lowell, MA, USA 이하 ICP-AES로 함)로 분석하였다. 이 때 ICP-AES의 분석조건은 Table 1과 같다. 표준 용액의 농도는 0.1, 1 및 10 ppm으로 조제하여 표준 검량선을 작성하였고, 각 무기원소의 정량은 시료 용액을 표준 검량선 범위 내에서 정량되도록 희석하여 정량하였다. 이 때 사용한 각 무기원소는 Sigma사 AA용 표준품을 사용하였다.

휘발성 향기 성분

홍경천 건조 분말 40 g을 취하여 2 L의 flask에 넣고 증류수 500 mL를 가한 다음 Schultz 등(18)의 방법에 따라 계량된 SDE(Likens Nikerson type simultaneous steam distillation and extraction apparatus)를 사용하여 휘발성 성분을 2시간 추출하였다. 추출용매로서는 재증류한 n-

Table 1. The operating conditions of ICP-AES for mineral analysis

| Items | Conditions | |
|--------------------|------------------------------|---------|
| Power | 1 KW for aqueous | |
| Nebulizer pressure | 3.5 bars for meinhard type C | |
| Aerosol flow rate | 0.3 L/min | |
| Sheath gas flow | 0.3 L/min | |
| Cooling gas | 12 L/min | |
| Wavelength (nm) | Ca | 393.366 |
| | K | 766.490 |
| | Mg | 279.533 |
| | Na | 588.995 |
| | Fe | 238.204 |
| | Cu | 324.754 |
| Zn | 213.856 | |

pentane : diethyl ether 혼합액(1 : 1, v/v) 50 mL를 사용하였으며 추출완료 후 무수황산나트륨으로 탈수시키고 30°C 이하에서 농축하여 용매를 제거한 다음 내부표준물질로서 γ -terpene 300 mg을 첨가하고 GC를 이용하여 휘발성 향기 성분을 분석하였다. 얻어진 gas chromatogram과 GC/MS의 chromatogram에서 휘발성 향기성분의 분자구조를 확인하였다. 이 때 사용한 GC/MS의 분석 조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

일반성분 및 유리당

홍경천 건조분말을 AOAC의 일반성분 분석법에 따라 분석한 결과, 수분 함량은 10.14%였으며, 총당은 41.17%, 환원당은 11.40%이었고, 조회분은 3.05%이었다. 한편, 조단백은 3.90%, 조지방은 1.33%로 함유하고 있는 것으로 나타났다(Table 3). Han(19)은 수분 5.49%, 조회분은 1.36%, 조지방 함량은 1.21%, 조단백의 함량은 1.76%, 전분은 27.7%로 보고하였는데 이 결과는 본 실험결과와 약간의 차이가 있었는데 이는 실험의 전처리과정에서 Han은 메탄올추출물을 사용하였고 저자는 홍경천 뿌리 자체를 이용한데서 비롯된 것으로 사료된다. 홍경천 건조분말의 유리당 함량을 HPLC로 분석한 결과는 Table 4와 같다. 홍경천에서 검출된 주요 유리당은 fructose, glucose, sucrose이며 fructose는 54.54 ± 0.34 mg%, glucose는 84.81 ± 1.01 mg%, sucrose는 8.43 ± 0.54 mg%으로 나타났다.

Table 2. The conditions of GC/MS for analysis of volatile flavor compounds in *Rhodiola sachalinensis* roots

| | |
|----------------|---|
| Model | : Hewlett-Packard model 5890 Series II |
| Column | : IFAP fused silica capillary column |
| Carrier gas | : Helium |
| Split ratio | : 50 : 1 |
| Detector | : HD 5970 mass selective detector (0.2 mm × 50 cm × 0.25 μm) |
| Column temp. | : 50°C to 230°C (Increase 2°C/min) |
| Injector temp. | : 250°C |
| Detector temp. | : 250°C |

Table 3. Contents¹⁾ of chemical components from *Rhodiola sachalinensis* roots (Unit: w/w%)

| Compositions | <i>Rhodiola sachalinensis</i> roots |
|----------------|-------------------------------------|
| Moisture | 10.14 ± 0.46 |
| Crude protein | 3.90 ± 0.88 |
| Crude fat | 1.33 ± 0.22 |
| Crude ash | 3.05 ± 0.12 |
| Total sugar | 41.17 ± 1.32 |
| Reducing sugar | 11.40 ± 1.12 |

¹⁾Values are means of triplicate determination.

Table 4. Contents¹⁾ of free sugars in *Rhodiola sachalinensis* roots (Unit: mg%)

| Compositions | <i>Rhodiola sachalinensis</i> roots |
|--------------|-------------------------------------|
| Fructose | 54.54 ± 0.34 |
| Glucose | 84.81 ± 1.01 |
| Sucrose | 8.43 ± 0.54 |

¹⁾Values are means of triplicate determination.

구성아미노산

홍경천의 구성아미노산 함량을 분석한 결과는 Table 5와 같다. Aspartic acid를 비롯한 17종의 아미노산을 분리 정량 하였는데, glutamic acid가 176.24 mg%로 가장 많았으며 그 다음으로 cystine이 168.60 mg%, arginine 159.90 mg%, proline 157.92 mg%, aspartic acid가 133.04 mg%, isoleucine이 118.51 mg% 및 histidine이 108.21 mg%의 순으로 나타났다. 한편, 황 함유 아미노산인 cystine, methionine는 각각 168.60 mg%, 86.27 mg%로 높게 나타났다. 또한 홍경천의 필수아미노산 함량은 arginine이 159.90 mg%, isoleucine이 118.50 mg%, histidine이 108.21 mg%, threonine이 90.67 mg%, isoleucine이 118.51 mg%, 및 methionine 86.27 mg%, leucine 38.43 mg%, valine이 15.89 mg%로 나타나, 필수아미노산이 고루 분포되었음을 보여주었다.

지방산 조성

홍경천 건조분말의 지방산 조성은 Table 6과 같다. 홍경천 건조분말을 구성하는 주된 saturated fatty acids(SFA)는 palmitic acid, lignoceric acid, gadoleic acid, arachi-

Table 5. Contents of total amino acids in *Rhodiola sachalinensis* roots (Unit: mg%, dry basis)

| Amino acid | Contents ¹⁾ |
|---------------|------------------------|
| Aspartic acid | 133.04 ± 3.88 |
| Threonine | 90.67 ± 2.96 |
| Serine | 80.43 ± 2.16 |
| Glutamic acid | 176.24 ± 5.65 |
| Proline | 157.92 ± 5.61 |
| Glycine | 81.90 ± 2.46 |
| Alanine | 30.81 ± 1.13 |
| Cystine | 168.60 ± 4.33 |
| Valine | 15.89 ± 6.67 |
| Methionine | 86.27 ± 4.88 |
| Isoleucine | 118.51 ± 5.97 |
| Leucine | 38.43 ± 9.51 |
| Tyrosine | 100.67 ± 4.04 |
| Phenylalanine | 62.12 ± 3.10 |
| Histidine | 108.21 ± 3.69 |
| Lysine | 98.26 ± 1.26 |
| Arginine | 159.90 ± 3.38 |
| Total | 1708.13 |

¹⁾Values are means of triplicate determination.

Table 6. Contents of fatty acids in *Rhodiola sachalinensis* roots (Unit: %)

| Fatty acid | Contents ¹⁾ |
|-----------------|------------------------|
| Myristic 14:0 | 1.17±0.21 |
| Palmitic 16:0 | 21.41±1.20 |
| Oleic 18:1 | 13.09±0.84 |
| Linoleic 18:2 | 32.46±1.01 |
| Linolenic 18:3 | 3.50±0.33 |
| Arachidic 20:0 | 3.56±0.14 |
| Gadoleic 22:0 | 5.80±0.24 |
| Erucic 22:1 | 0.93±0.64 |
| Lignoceric 24:0 | 14.82±2.21 |

¹⁾Values are means of triplicate determination.

dic acid, myristic acid 등 5종이 확인되었고, 이들은 각각 21.41%, 14.82%, 5.80%, 3.56%, 1.17%이었다. 또한, 홍경천 건조분말을 구성하는 이중결합이 1개인 monounsaturated fatty acids(MUFA)는 oleic acid, erucic acid이었으며 각각 13.09%, 0.93%를 함유하고 있었으며, 이중결합이 2개 이상인 polyunsaturated fatty acids(PUFA)는 linoleic acid, linolenic acid로 32.46%, 3.50%로 나타났다. 홍경천 건조분말의 주요 지방산으로는 SFA인 palmitic acid, lignoceric acid, MUFA인 oleic acid, PUFA인 linoleic acid, linolenic acid이었으며, 그 중에서 PUFA인 linoleic acid의 함량이 32.43%로 홍경천 건조분말의 지방산은 불포화도가 매우 높음을 확인할 수 있었다.

무기성분

홍경천 건조분말의 무기성분의 조성 및 함량을 분석한 결과는 Table 7과 같다. Ca, K, Mg, Fe, Zn, Na, Cu 등 7종의 무기물 성분이 주를 이루고 있었으며, 홍경천 건조분말의 주요 무기질은 Ca이 3358.33 mg/L, K이 2068.50 mg/L, Mg이 931.50 mg/L로 나타났다. 대표적 구근식물인 인삼(16)의 주요 무기물 조성은 Ca, K, Na, Mg이었고, 도라지(20)의 경우는 Ca, K, Mg 및 Na 등이 많이 함유되어 있다고 보고되었는데 이는 본 실험의 홍경천 분말 결과와 조성면에서 비슷한 경향을 나타내었다. 최근 식단의 변화로 산성 식품의 섭취가 급격히 증가하고 있는 상황에서 홍경천

Table 7. Contents of minerals in *Rhodiola sachalinensis* roots (Unit: mg/L)

| Minerals | Contents ¹⁾ |
|----------|------------------------|
| Na | 9.17±0.14 |
| K | 2,068.50±2.10 |
| Mg | 931.50±1.17 |
| Cu | 3.57±0.68 |
| Fe | 160.43±0.97 |
| Zn | 38.47±1.32 |
| Ca | 3,358.33±0.77 |

¹⁾Values are means of triplicate determination.

Table 8. Contents of volatile compounds in *Rhodiola sachalinensis* roots (Unit: area counts/1,000)

| PN | RT | Compounds | Area % |
|----|-------|---|--------|
| 1 | 17.43 | Hexanal | 0.32 |
| 2 | 33.36 | 1-Hexanol | 0.67 |
| 3 | 39.30 | Linalool oxide (cis) | 3.55 |
| 4 | 39.83 | Heptanol | 0.28 |
| 5 | 41.08 | Linalool oxide (trans) | 2.06 |
| 6 | 44.86 | Benzaldehyde | 1.54 |
| 7 | 45.60 | Linalool | 5.54 |
| 8 | 46.19 | Octanol | 7.69 |
| 9 | 52.32 | Acetophenone | 1.36 |
| 10 | 54.48 | α -Terpineol | 2.63 |
| 11 | 54.73 | 2,6,6-Trimethyl-2-cyclohexen-1-methanol | 0.55 |
| 12 | 56.78 | E-Citryol | 0.30 |
| 13 | 57.78 | Decanol | 0.69 |
| 14 | 59.55 | Cinnornic aldehyde | 0.86 |
| 15 | 59.85 | Myrtenol | 8.16 |
| 16 | 62.51 | Geraniol | 13.35 |
| 17 | 64.39 | Denzyl alcohol | 1.78 |
| 18 | 66.18 | Phenylethyl alcohol | 1.88 |
| 19 | 69.01 | Phenyl allyl alcohol | 0.66 |
| 20 | 70.69 | Perilla alcohol | 0.33 |
| 21 | 72.11 | p -anis aldehyde | 0.43 |
| 22 | 72.88 | 2-Cinnamic aldehyde | 19.51 |
| 23 | 73.15 | Octanoic acid | 1.07 |
| 24 | 75.34 | Cinnarnyl alcohol | 1.92 |
| 25 | 83.68 | Cinnarnyl alcohol | 7.60 |

건조분말에 주요 무기질 함량이 특히 높게 나타난 것으로 보아 홍경천을 식품소재로 사용시 알칼리성 식품원료로 채액의 산·염기 평형의 유지에 중요한 기능성을 가질 것으로 사료된다.

휘발성 향기성분

홍경천 건조분말의 향기성분을 알아보기 위하여 연속 증류추출장치(simultaneous distillation & extraction SDE) 방법으로 추출하여 분석한 결과는 Table 8과 같다. 홍경천에서 총 25종의 향기성분이 확인되었는데 확인된 성분들을 관능기별로 분류하면 octanol을 포함한 alcohol류 17종, 2-cinnamic aldehyde를 포함함 aldehyde류 5종, hydrocarbon류 2종, carbonyl류 1종류, acid류 화합물이 1종류였다. 관능기별로 확인된 성분들의 총 peak area(%)를 살펴보면 홍경천에서 alcohol류 59.00%, aldehyde류 22.34%, carbonyl류 0.80%, hydrocarbon류 1.55%, acid 화합물 1.07%로 총 85.78%로 확인되었다. 홍경천 건조분말에서 alcohol류가 59.99%로 가장 많았고, 그중 geraniol이 13.35%로 가장 많이 함유되어 있었다. Aldehyde류에서 2-cinnamic aldehyde가 19.51%로 가장 많이 함유되어 있었다. 기능성 식품소재로 다양하게 활용되고 있는 천마의 경우는 생천마에서 39종의 향기성분이 확인되었는데 이중

alcohol류 2.16%, acid류 86.06%, hydrocarbon류 2.27%, carbonyl류 0.47%, ester류 0.13%였으며, 건천마에서는 25종 성분이 확인되었는데 alcohol류 3.65%, acid류 69.97%, hydrocarbon류 6.74%, carbonyl류 0.18%로 확인되었다고 보고하였다(21).

요 약

홍경천(*Rhodiola sachalinensis*)의 성분을 분석하여 식품학적 특성을 검토하고 식품소재로서의 기초자료로 활용할 수 있도록 건조된 홍경천을 분쇄, 분말화한 후 일반성분 및 무기성분, 유리당, 구성아미노산, 유리지방산, 그리고 향기성분을 분석하였다. 홍경천 건조분말의 수분은 10.14%, 조단백 3.90%, 조지방 1.33%, 총당 41.17%, 환원당 11.40%, 회분은 3.05%로 분석되었고, 무기성분은 Ca, K, Mg이 높은 함량으로 나타났다. 유리당으로는 glucose, fructose, sucrose 등으로 특히 glucose와 fructose가 높게 함유되어 있었다. 주된 구성아미노산은 glutamic acid, cystine, arginine, proline, aspartic acid, isoleucine, histidine 등의 함량 순으로 나타났으며, 특히 glutamic acid, cystine, arginine의 함량이 각각 176.24, 168.60, 159.90 mg%로 높은 함량 수준을 보였다. 유리지방산은 linoleic acid가 32.46%로 함량이 가장 높았으며 그 다음으로 palmitic acid가 21.42%, lignoceric acid 14.83%, oleic acid 13.09%, behenic acid가 5.80% 순으로 나타났다. 향기성분은 GC-MS로 분석한 결과 2-cinnamic aldehyde 함량이 가장 높았으며 geraniol, myrtenol, octanol 등의 함량이 높게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 홍경천 뿌리는 다양한 일반성분 조성, 필수아미노산, 불포화지방산, 필수 무기질 등이 균형있게 함유된 식품학적 성분 가치가 충분한 소재임이 확인되었다. 따라서 향후 홍경천 뿌리에서 유효성분을 추출하여 생리활성 및 동물실험을 통해 이들 식품학적 성분들의 유용성을 탐색하는 작업이 필요하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구 수행시 많은 도움을 주신 KT&G 중앙연구원의 이종태 박사님, 경중수 선생님께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- Chung TH. 1974. *Korean flora (herb part)*. Academybook, Seoul, Korea.
- Kurkin VA, Zapesochaya GG, Klyazinka VG. 1982. Flavonoids of *Rhodiola rosea*. *Khim Prir Soedin* 13: 581-584.
- Zapesochaya GG, Kurkin VA. 1983. The flavonoids of the rhizomes *Rhodiola rosea* II: A flavonolignan and herb bacetin. *Khim Prir Soedin* 19: 23-32.
- Moon KS. 1991. *The components and uses of herbal medicine*. Liweolsegak, Seoul, Korea.
- Jin ZZ, An SD, Lee SL. 1994. Coloured resources plants palkdoo mt. Academybook, Seoul, Korea.
- Zang ZH, Fen SH, Hu GD, Cao ZK, Wang LY. 1989. Effect of *Rhodiola kirilowii* (Regel) Maxim on preventing high altitude reactions: A comparison altitudes. *Chin Mate Med* 14: 687-691.
- Petkov VD, Yonkov D. 1987. Effect of alcohol aqueous extra from *Rhodiola* roots on learning and memory. *Acta Physic Pharmacol Bulgarica* 12: 3-7.
- Kim MH, Park CK. 1997. Inhibition of ethanol absorption by *Rhodiola sachalinensis* in rats. *Arch Pharm Res* 20: 432-434.
- Yoshikawa M, Shimada H, Horikawa S, Murakami T, Shimoda H, Yamahara J, Matsuda H. 1997. Bioactive constituents of chinese natural medicines. *Chem Pharm Bull* 45: 1498-1509.
- Ryu KY, Kang WS, Kim YH, Jang HD, Hong JH, Yoo HS, Yun YP. 1998. Antioxidative effects of the rhizomes *Rhodiola sachalinensis*. *Yakhak Hoeji* 42: 312-318.
- Maimeskulova LA, Maslov LN. 1998. The anti-arrhythmia action of an extract of *Rhodiola rosea* and of n-tyrosol in models of experimental arrhythmias. *Eksp Klin Farmakol* 61: 2-5.
- Salikhov RA, Alesandrova IV, Mazuric VK, Mikhailov VF, Ushenkova LN, Poroshenko GG. 1997. Effect of *Rhodiola rosea* on the yield of mutation alterations and DNA repair in bone marrow cells. *Patol Fiziol Eksp Ter* 22: 4-8.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of official analytical chemists, Virginia, USA.
- Colowick SP, Kaplan NO. 1955. *Method in enzymology*. Academic Press Inc., New York, USA.
- Ko SR. 1994. Comparative study on chemical components and biological activities of *Panax* species. *PhD Thesis*. Chonbuk National University, Chonju, Korea.
- Lee JW. 1997. Physico-chemical characteristics and biological activities of the water soluble browning reaction products from Korean red ginseng. *PhD Thesis*. Gyeongsang National University, Chinju, Korea.
- Metcalfe LD, Schmits AA, Pelka JG. 1996. Rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis. *Anal Chem* 38: 514-519.
- Schultz TH, Falth RA, Mont R, Enggling SB, Teranishir R. 1997. Isolation of volatile components from a model system. *J Agric Food Chem* 25: 466-471.
- Han YK. 1999. Chemical composition and functionality of *Rhodiola sachalinensis*. *MS Thesis*. Seoul National University, Seoul, Korea.
- Chung CH. 1996. Studies on pharmaceutical substance and tissue cultures of *Platycodon gromdiflorus*. *PhD Thesis*. Gyeongsang National University, Chinju, Korea.
- Lee JW, Kim YK. 1997. Volatile flavor constituents in the rhizoma of *Gastrodia elata*. *Agric Bio Chem* 40: 455-458.