塩ストレスがウラルカンゾウ(*Glycyrrhiza uralensis* Fischer ex Candolle) 1年生苗の成長と生理に及ぼす影響

岡村怜美¹⁾・山本福壽²⁾・西原英治²⁾・谷口武士¹⁾・山中典和^{*1)}

1) 鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori University

2) 鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University

摘要: ウラルカンゾウは中国等の乾燥地に自生するマメ科の多年生植物で、その根は漢方薬の原料に用いられる。近年、野生株の乱獲が増加し、自生地では個体数の減少やそれに伴う砂漠化が問題となっている。本研究では、塩類集積地におけるウラルカンゾウの緑化利用を検討するため1年生苗を用いてNaCl 0,50,100,200,400,600 mM 区を設けた塩ストレス実験を1カ月間おこなった。その結果、NaCl 400 mMで生存及び生理的反応に影響が現れ、600 mMで全ての個体が枯死した。グリチルリチン含有量はNaCl濃度400 mMで低下がみられた。また、NaCl 濃度の上昇に伴い葉、茎でNa⁺含有量及びNa⁺/K⁺比は顕著に増加した。

キーワード: 乾燥地緑化, 薬用植物, ウラルカンゾウ, 耐塩性

OKAMURA, Satomi, YAMAMOTO, Fukuju, NISHIHARA, Eiji, TANIGUCHI, Takeshi and YAMANAKA, Norikazu: The effect of salinity stress on growth and physiology of 1-yr old seedlings of licorice(*Glycyrrhiza uralensis* Fischer ex Candolle).

Abstract: Licorice is the leguminous perennial plant growing in arid areas of China, and its root has been used for Chinese medicines. Recently, wild licorice resource is exhausting for over harvesting, and this results in desertification. To consider the restoration of salt affected soils using licorice, effects of salt stress(NaCl : 0 mM, 50 mM, 100 mM, 200 mM, 400 mM, 600 mM) on licorice seedlings were examined. The survival and physiological properties were damaged in 400 mM, and all plants were died 600 mM. Glycyrrhizin content decreased in 400 mM. Na⁺ content and Ratio of Na⁺ to K⁺ in leaf and stem significantly increased with increase of NaCl concentration.

Key words: *Glycyrrhiza uralensis*, medicinal plants, salt stress, revegetation in drylands, Glycyrrhizin

1. はじめに

中国の乾燥地では砂漠化が深刻な問題であり、土壌の塩類化も大きな問題となっている⁶⁾。

塩類土壌の対策には様々なものがあるが、そのひとつとして、塩に強い植物を植栽するという方法が着目されている¹⁹⁾。また、塩害地も含めた砂漠化地域の緑化において、植栽する植物は環境修復という機能以外に現地の人々の収入源となる換金植物であることが望ましい。

ウラルカンゾウ(*Glycyrrhiza uralensis* Fischer ex Candolle)は中国、モンゴルから中央アジア、ロシアの乾燥地に分布するマメ科の多年生植物であり、砂地や川の土手、草原等に生育する¹⁾。中旱性の植物で、軽度ソーダ質化した草原でも生育するとされている²⁾。その根や走茎(ストロン)はグリチルリチン酸(C₄₂H₆₂O₁₆)を含み³⁾、これは抗炎症作用、抗潰瘍作用等の効能を示す¹⁰⁾。このためウラルカンゾウは漢方薬の原料として広く利用され、経済的価値の高い換金植物となっている^{4) 10) 11)}。しかし近年、主要生産国である中国において、油田開発による自生地の破壊や野生株の乱獲に

より個体数の減少が問題となっている^{8) 11) 15)}。

また、ウラルカンゾウの深い根は固砂作用を有しているため¹⁰⁾、抜き取りにより現地では砂漠化が進行し問題となっている。そのため現在、中国ではウラルカンゾウの採取が規制されており、中国をはじめ日本でもウラルカンゾウの栽培化に向けた研究が進められている¹¹⁾。経済的利用、自然環境の両面からウラルカンゾウの栽培に関する研究は重要である。

日本薬局方で定められている生薬カンゾウのグリチルリチン含有量は2.5%以上と規定されているが⁴⁾、2~3年間の栽培でも基準値のグリチルリチン含有量に達することは難しいと考えられている⁹⁾。そのため現在は、短期間栽培で達するための研究等が進められている¹⁵⁾。このようにウラルカンゾウの栽培に関する研究は多くおこなわれているが、その耐乾性、耐塩性に関する研究は少ない。また乾燥、塩ストレスがウラルカンゾウの酵素活性に与える影響は報告されているが²⁰⁾、耐塩性についての研究は少ない。

そこで本研究では、まずウラルカンゾウが塩類集積地の緑化に利用可能であるかを検討するための初歩的研究として1年生苗を用いたウラルカンゾウの塩ストレス実験を行っ

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒680-0001 鳥取市浜坂 1390 E-mail : yamanaka@alrc.tottori-u.ac.jp

た。また、換金植物としての利用可能性を検討するため、塩ストレスが重要な薬用成分であるグリチルリチン含有量にどのような影響を及ぼすかを見るため、グリチルリチンの定量を行った。

2. 材料ならびに方法

2.1 材料および栽培方法

実験は鳥取大学乾燥地研究センター内のビニールハウス内で、一年生のウラルカンゾウの苗(株式会社グリーンイノベーションより提供)を用いて行った。提供を受けた苗は、2014年6月14日、7月3日、10日に砂丘未熟土を充填した1/5000ワグネルポットに移植し、 $N:P:K:Ca:Mg=34:19:18:414:79$ (kg/10a)となるように施肥した。その後はビニールハウス内で栽培をおこなった。栽培期間を通じてのビニールハウス内の気温、照度変化をおんどり(Thermo Recorder TR-72Ui:T&D corp)を用いて15分間隔で測定した。期間中の最高気温は45.1℃、最低気温は13.3℃、平均気温は25.9℃であった。期間中の日最低照度は8519 lux、日最高照度は35660 luxであった。

2.2 塩ストレス処理

2014年8月27日から塩処理を開始し、9月27日に全個体を収穫した。塩ストレスとしてNaCl溶液を900L/4日の間隔で与えた。NaCl濃度は0(control), 50, 100, 200, 400, 600 mMの6処理区を設け、各処理区の繰り返しは10回とした。実験期間中、塩処理は2014年8月27日、31日、9月4日、8日、12日、16日、20日、24日の計8回おこなった。

実験開始前における各処理区の主茎長平均値は0 mMで 32.9 ± 1.2 cm, 50 mMで 32.8 ± 1.3 cm, 100 mMで 32.9 ± 1.3 cm, 200 mMで 32.5 ± 1.3 cm, 400 mMで 32.7 ± 1.3 cm, 600 mMで 32.9 ± 1.2 cmであり有意差は認められなかった(Sheffe test, $p > 0.05$)。

2.3 測定方法

2.3.1 生存率

地上部が枯死した個体を枯死個体とみなし、塩処理翌日の生存率をみた。

2.3.2 成長・現存量

成長量として主茎長の測定を処理開始前と処理開始後、週に一度測定をおこなった。現存量は、2014年9月27日に収穫した植物体を80℃で48時間以上乾燥させ、その乾燥重量を現存量とした。

2.3.3 光合成速度

塩ストレスの生理的影響を評価するため、LI-6400XT(LI-COR社)を用いて光合成速度を測定した。測定は塩処理翌日の午前におこなった。各処理区の繰り返しは5個体とした。

2.3.4 クロロフィル蛍光収率

同じく生理的影響の評価としてMINI-PAM(WALZ社)を

用いてクロロフィル蛍光収率を測定した。測定は塩処理前と塩処理開始から1週間、その後は塩処理翌日におこなった。測定時間は日没から3時間後と定め、午後9時頃に測定をおこなった。各処理区の繰り返しは10個体としたが、枯死個体が出たため400 mM区の9月21日、25日の調査個体は7個体となった。

2.3.5 グリチルリチン(GL)含有量

根全体を粉砕機で粉砕した後、100 mgに秤量し、50%エタノールを10 mL入れ、超音波抽出をおこなった。遠心分離機にかけた後、上澄み液を濾過し、測定試料とした。測定にはUV-VIS DETECTOR (SHIMAZU), Pump L-7100 (HITACHI) Column Oven L-7300 (HITACHI), Chromato Integrator D-2500 (HITACHI), HPLC COLUMNS 150 × 4.60 mm Luna5u C18100A phenomenex (島津ジーエルシー)を用いた。

2.3.6 植物体中における陽イオンの挙動

ウラルカンゾウが塩を吸収している場合、どの部位に蓄積されているかを明らかにするため植物体中の Na^+ および K^+ 含有量を測定した。80℃に設定した乾燥機(DKN812, DN810, ヤマト科学株式会社)にて48時間以上乾燥させた植物体を根、葉、茎に分けて粉砕機で粉砕し、250 mgに秤量した。秤量したサンプルに硝酸、過塩素酸、硫酸を10:4:1の割合で混合した混酸を加え湿式灰化をおこなった。湿式灰化後、原子吸光分光光度計(AA-6700, 島津製作所)を用いて Na^+ 、 K^+ の測定をおこなった。繰り返しは5回とした。

2.3.7 統計解析

主茎成長量については各調査日の処理区間について比較を行うため、 Na^+/K^+ 比については器官ごとの処理区間の比較を行うため対数変換の後、一元配置分散分析($p < 0.05$)を行い、ここで有意差が認められた調査日について多重比較検定(Tukey's HSD test, $p < 0.05$)を行った。器官別現存量、器官別 Na^+ 含有量、器官別 K^+ 現存量については、各器官における塩処理濃度の影響を評価するため、そして光合成速度、およびFm/Fvについては、各調査日における処理区間の比較を行うため、一元配置分散分析($p < 0.05$)を行い、ここで有意差が認められた場合に多重比較検定(Sheffe test, $p < 0.05$)を行った。また、GL含有量については、塩処理濃度の影響を評価するため、対数変換の後、一元配置分散分析($p < 0.05$)を行い、続いて多重比較検定(Sheffe test, $p < 0.05$)を行った。これらの全ての統計解析は、IBM SPSS Statistics21を用いて行った。

3. 結果

3.1 生存率

図-1に処理区ごとの生存率を示す。0~200 mM区では実験期間の約1カ月を通して枯死個体はみられなかった。9月26日の実験終了時には400 mM区で半数の5個体が枯死し、

600 mM 区では 10 個体全てが枯死した。

3.2 主茎成長量

図-2 に処理区ごとの主茎成長量を示す。塩濃度の上昇に伴って成長量は減少し、最終的な成長量では 0 mM と 400 mM の間に有意差が認められた (Tukey HSD test, $p<0.05$)。

3.3 部位別現存量

図-3 に処理区ごとの部位別現存量を示す。また、値は生存個体のみの平均値を示す。葉、根の現存量は NaCl 濃度の上昇にしたがって値が減少した。葉では 0, 50 mM 区と 200, 400 mM 区の間で有意差が認められ、根では 0, 50 mM 区と 400 mM 区の間で有意差が認められた (Scheffe test, $p<0.05$)。

3.4 光合成蒸散速度

図-4 に塩処理翌日の光合成蒸散速度を示す。600 mM 区では 8 月 28 日の塩処理 1 回目翌日から大きく値が減少した。400mM 区でも、600mM 区より緩やかではあるが、塩処理開始以降に大きな値の減少がみられた。0~100mM 区では多少の変動は見られるものの大きな値の減少はみられなかった。200mM 区では 9 月 9 日の塩処理 4 回目翌日に値が減少したが 0~100mM 区との有意な差は認められなかった (Scheffe test, $p<0.05$)。

3.5 クロロフィル蛍光収率

図-5 に処理期間中のクロロフィル蛍光収率の値を示す。600 mM 区では塩処理開始から 3 日後に徐々に値が減少し、3 回目の塩処理後に大きく値が減少した。400 mM 区では、個体間で塩の影響程度が大きく異なり、塩の影響が大きかった個体の影響により塩処理 4 回目後に値が大きく低下し、その後も低下し続けた。塩処理 6 回目後の測定では塩の影響が大きい個体が測定不能となったため処理区間の平均値は上昇したが、塩処理 7 回目後の値は再び大きく低下した。

3.6 グリチルリチン(GL)含有量

図-6 に処理区ごとの GL 含有量を示す。値は生存個体のみの平均値を示す。0~100 mM までは NaCl 濃度の上昇と共に値は増加しているが有意差は認められなかった (Scheffe test, $p<0.05$)。100 mM で最も高い値を示し、さらなる NaCl 濃度の上昇には値は減少し、400 mM 区で最も低い値を示した。0~200mM と 400 mM の間に有意な差が認められた (Scheffe test, $p<0.05$)。

3.7 カチオン分析

3.7.1 Na⁺含有量

図-7(a)に植物体中の器官別 Na⁺含有量を示す。葉、茎において NaCl 濃度の上昇に伴って Na⁺含有量が上昇した。葉では 200, 400mM 区において値が急激に上昇し、0~100mM 区と 200mM 区の間に有意差が認められ、さらに 200mM 区と 400 区の間に有意差が認められた (Scheffe test, $p<0.05$)。茎では、葉のように急激な上昇は見られなかったが、NaCl 濃度の上昇に伴って値は上昇した。根でも、0~100mM 区までは NaCl 濃度の上昇に伴って値が上昇しているが 200mM 区で値が減少し、400mM 区でまた値が上昇した。部位間で比

較すると 200, 400mM 区では、根の Na⁺含有量が最も低い値を示し、葉、茎と根の間に有意差が認められた。また、葉と茎の値に有意差は認められなかった (Scheffe test, $p<0.05$)。

3.7.2 K⁺含有量

図-7 (b) に植物体中の器官別 K⁺含有量を示す。K⁺は全処理区において葉で最も多い含有量を示した。NaCl 濃度の上昇に伴って葉の K⁺含有量も上昇し、0mM 区と 400mM 区の間に有意差が認められた (Scheffe test, $p<0.05$)。茎では処理区間の有意差は認められなかったが、根では 0mM と 50mM, 400mM の間に有意差が認められた (Scheffe test, $p<0.05$)。

図-1 異なる濃度の NaCl 処理における生存率の推移

Fig. 1 Survival rate of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch under different salt stress.

図-2 異なる濃度の NaCl 処理における主茎成長量の推移

図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは各日ごとに処理区間で有意差があることを示す。(Tukey HSD test, $p<0.05$)

Fig. 2 Changes of growth under different salt stress. Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among six treatments (Tukey HSD test, $p<0.05$)

図-3 異なる濃度の NaCl 処理における植物体の器官別現存量 (DW) (0~200mM : n=10, 400mM : n=5)

図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す。

(Sheffe test, $p<0.05$)

Fig. 3 Dry weight each parts (leaf, stem, root) under different salt stress. Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among six treatments (Sheffe test, $p<0.05$).

図-4 異なる濃度の NaCl 処理における光合成速度の推移

図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す。(Sheffe test, $p<0.05$)

Fig. 4 Changes of photosynthetic rate under different salt stress. Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among six treatments (Sheffe test, $p<0.05$)

図-5 異なる濃度の NaCl 処理における Fv/Fm 比の推移

図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す。(Sheffe test, $p<0.05$)

Fig. 5 Changes of Fv/Fm under different salt stress.

Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among six treatments. (Sheffe test, $p<0.05$)

図-6 異なる濃度の NaCl 処理における地下部の GL 含有量

図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す。

(Sheffe test, $p<0.05$)

Fig. 6 Content of glycyrrhizin under different salt stress.

Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among six treatments (Sheffe test, $p<0.05$)

図-7 異なる濃度の NaCl 処理における植物体中の器官別陽イオン含有量 (a) Na⁺ (b) K⁺
図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す。
(Sheffe test, $p < 0.05$)

Fig. 7 Content of cation in the plant under different salt stress (a) Na⁺ (b) K⁺
Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among five treatments.
(Sheffe test, $p < 0.05$)

3.7.3 Na⁺/K⁺比

図-8に処理区ごとの器官別 Na⁺/K⁺比を示す。茎において NaCl 濃度上昇に伴う顕著な値の上昇がみられた。また、200, 400 mM 区において茎では他の器官と比較して顕著に高い値を示した。茎、根では 0 mM と比較して 50mM 区で大きく値が上昇したが、葉では 100 mM まで大きな値の上昇はみられなかった。

図-8 異なる NaCl 濃度ごとの器官別 Na⁺/K⁺比
図中の縦線は標準誤差を示す。異なるアルファベットは処理区間で有意差があることを示す。

(Tukey'sHSD test, $p < 0.05$)

Fig. 8 Na⁺/K⁺ratio in the plant under different salt stress
Bars indicate standard errors. Different letters indicate significant differences among five treatments
(Tukey'sHSD test, $p < 0.05$).

4. 考察

今回の実験では、NaCl 濃度を段階的に変化させウラルカンゾウの耐塩性の限度を評価することを試みた。

その結果、生存率において 0~200 mM 区では 100%, 400mM 区で 50%を示し、600 mM 区では全個体が枯死した。また、光合成速度、クロロフィル蛍光収率の生理的反応から塩の影響を評価した結果、両者の測定値において 400, 600mM 区で著しく値が減少した。これらのことから、ウラルカンゾウの耐塩性の限界が 400 mM 付近にあることが示唆された。田中ら(2009)のアブラマツ (*Pinus tabulaeformis* Carr.)を用いた塩ストレス実験では 25, 50, 100 mM の NaCl 溶液を 100 cc / 3 日の頻度で与えたところ、110 日後に 100mM 区、120 日後に 50mM 区で全個体が枯死した¹²⁾。実験期間などの差異はあるが、このことからウラルカンゾウは中国の乾燥地緑化に用いられるアブラマツに比べて、格段に強い耐塩性を持っていると考えられ、軽度の塩類集積地の緑化植物として利用を検討する余地があると考えられる。

グリチルリチン (GL) 含有量は 100mM 区で最も高い含有量を示した。400mM 区で GL 含有量は有意に値が減少し、地下部の現存量も 0 mM 区と比べ大きく減少した。このことから、ウラルカンゾウは高塩分環境下でも GL の蓄積が可能であり、ある適度な塩処理濃度までは GL 含有量は上昇し、可能域を超えると含有量の低下や現存量の低下が引き起こると考えられる。しかし本実験で使用した個体は 1 年生の苗であり、栽培からの実験期間は 4 ヶ月程度であった。したがって今後、塩ストレスと GL 含有量の関係をさらに明らかにするために長期的な塩処理実験をおこなう必要があると考える。

陽イオン含有量では、200, 400mM の高濃度の処理区において根の Na⁺含有量が低かったことから吸収された Na⁺が地上部へ移行していると考えられる。茎の Na⁺含有量が NaCl 濃度の上昇に伴って顕著に増加した一方、葉の Na⁺含有量は 0~100mM までは低い値を示し、200mM で急激に高くなったことから地上部に移行した Na⁺は茎で留められ、葉への移行は抑制されていたと考えられる。このような Na⁺の輸送障壁は塩生植物でよく知られている¹⁸⁾。Na⁺の過剰は原形質内のイオンバランスを乱すため¹⁸⁾、今回の実験でも Na⁺の葉への移行を抑えることにより葉内での生理的機能が阻害されるのを防除したと考えられる。しかし、400mM 区では茎において Na⁺の移行を制御する能力が限界に達したため、葉に多く Na⁺が移行したと考えられる。そのため、400mM 区で生存率や光合成速度等に影響が出始めたと考えられる。

また、植物の耐塩性機構には選択的な K 吸収能と Na 排除能が知られている¹⁴⁾。葉の K⁺含有量が NaCl 濃度の上昇に伴い増加していることから、葉では選択的な K⁺吸収が行われたと考えられる。

本実験からウラルカンゾウが強い耐塩性を持つことが明らかとなった。また、適度な塩濃度が GL 含有量を上昇させると示唆された。しかし、本実験は 1 年生苗を用いた 1 カ月程度の実験であった。そのため、ウラルカンゾウを実際の塩類土壌の緑化に用いるため、また GL 含有量と塩の関係を検討するためには、より長期的な塩処理試験を今後、おこなっていく必要がある。

謝辞：本研究を行うに当たり、苗を提供していただいた株式会社グリーンイノベーション様には、ここに記し感謝の意を表します。

引用文献

- Bojian, B. and Larsen, K. (2010) GLYCYRRHIZA . Flora of China, 10 : 509-511.
- 富 象乾(1989) 甘草属, 内蒙古植物誌 (第二版), 3 : 245-248.
- 林 宏明 (2004) カンゾウ属植物の自生地調査と二次代謝機能の解析. Natural Medicines 58 (4) : 132-137.
- 草野源次郎・芝野真喜雄・渡辺 斉・尾崎和男 (2003) 数種のカンゾウ属植物に関する薬用植物学的研究. YAKUGAKU ZASSHI, 123(8) : 619-631.
- 李 楊, 黄 建輝(2009)庫布齊沙漠中甘草对不同水分和养分供应的光合生理响应, 植物生態学報, 33(6) : 1112-1124 (in Chinese with English summary)
- 真木太一(1996)中国の砂漠化・緑化と食料危機. 信山社出版(株), pp.70-71.
- Li, M., Wang, G. X. and Lin, J. S. (2004) Calcium Stimulates the Adaptation of Cultured Liquorice Cells to PEG-Induced Water Stress. Russian Journal of Plant Physiology, 51(4) : 518-524.
- 正山征洋(2008) 世界の薬用植物事情・砂漠化と甘草. 薬用植物研究, 30(1) : 1-5.
- 芝野真喜雄(2013)ウラルカンゾウ (*Glycyrrhiza uralensis* Fischer) の国内栽培を目指して. 特産種苗, 16: 47 - 49.
- 芝野真喜雄・尾崎和男 (2011) 生薬・甘草の国内生産を目指して. 大阪薬科大学紀要, 5 : 59-68.
- 芝野真喜雄・川瀬さおり・村上理恵・喜多俊二・草野源次郎・柴田敏郎・畠山好雄・縣 功 (2000) ウラルカンゾウ (*Glycyrrhiza uralensis* .) 栽培のための基礎研究 (1) , Natural Medicines 54(2): 70-74.
- 田中一平・谷口武士・二井一禎・山中典和 (2009) 異なる塩ストレス下におけるアブラマツ (*Pinus tabulaeformis* Carr.) 苗木の生存及び成長と菌根形成. 日本緑化工学会誌, 35(1) : 33-38.
- 唐 曉敏・王 文全・張 紅瑞・季 衛東(2008) 不同濃度 NaCl 処理对甘草葉片生理特性的影響. 中国農学通報, 24 (1) : 229-232.
- 但野利秋(1983)作物の生産性とその機構. 化学と生物, 21(7) : 439-445.
- 戸田則明・佐々木聡子・武田修己・魏 勝利・王 文全・王永剛・施 樺・李 剛 (2012) 中国におけるウラルカンゾウ(*Glycyrrhiza uralensis*)の栽培研究(第 1 報)地上部切除処理がグリチルリチン酸含量に及ぼす影響. 生薬学会誌, 66(2):65-70.
- Nasrollahi, V., Mirzaie-asl, A., Piri, K., Nazeri, S. and Mehrabi, R. (2014) The effect of drought stress on the expression of key genes involved in the biosynthesis of triterpenoid saponins in liquorice (*Glycyrrhiza glabra*). Phytochemistry, 103 : 32-37.
- Li, W. D. , Hou, J. L., Wang, W. Q., Tang, X. M., Liu, C. L. and Xing, D. (2011) Effect of Water Deficit on Biomass Production and Accumulation of Secondary Metabolites in Roots of *Glycyrrhiza uralensis*. Russian Journal of Plant Physiology, 58(3) : 538-542.
- Larcher, W. (1999) 植物生態生理学. シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社, 293pp.
- 藤山英保(2008) 除塩作物による塩類除去. 山本太平編, 乾燥地科学シリーズ第 3 巻 乾燥地の土地劣化とその対策. 古今書院, pp.240-247.
- Yan, P., Li, J. W., Zeng, L. Y. (2006) Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzyme of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). Plant Growth Regul, 49 : 157-165.

(2015.6.1受理)