

薬用植物の生長促進・高品質化のための施設生産における 環境調節技術(2)

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	西村, 徹郎 大山, 克己 角野, めぐみ 古在, 豊樹
発行元	養賢堂
巻/号	83巻10号
掲載ページ	p. 1057-1062
発行年月	2008年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



薬用植物の生長促進・高品質化のための

施設生産における環境調節技術〔2〕

西村徹郎*・大山克己*・角野めぐみ**・古在豊樹*

1. はじめに

前報では、薬用植物生産に関する研究の背景、薬用植物の定義、世界的な需要、わが国における薬用植物に関する動向、薬用植物生産が抱える現状の課題を取りまとめた。本稿では、筆者らの研究グループにおける研究事例の紹介とともに、上述の課題を解決するための方策について論じていく。

2. 薬用植物の高品質化と生長促進のための環境調節

筆者らの研究グループでは、現在までに、閉鎖型薬用植物生産システムの実用化に向けて、人工光を利用し、物理環境を調節できる条件下において、環境要因（光、温度、ガスなど）が薬用植物体内の薬効成分生産に及ぼす影響について調査してきた（表1）。ここでは、漢方薬に生薬として用いられてい

るシソ、ハッカおよびカンゾウの生育および植物体内薬効成分濃度に及ぼす光環境の影響について、現在までに得られている成果をもとに紹介する。あわせて、生薬として用いられていないが、薬用植物として世界的に需要の多いセイヨウトギリソウの生育および薬効成分濃度に及ぼす気温、CO₂濃度および光環境の影響について紹介する。

(1) シソの薬効成分生産に及ぼす光環境の影響

シソ（学名：*Perilla frutescens* Britt.）の葉および枝先（生薬名：蘇葉）は、精神安定に効果があるといわれる半夏厚朴湯や、平素より胃腸虚弱な人の風邪に効果のあるといわれる香蘇散などの漢方薬に配合されている。シソの葉は、精油成分（主にペリラルデヒド、リモネン）濃度が高く、赤みが強いほど高品質であるとみなされる。したがって、シソの高品質化のためには、精油成分の増大とともに、赤い色素であるアントシアニン濃度を高める必要がある。

このシソを、青色光、緑色光および赤色光下で育成したところ、青色光および緑色光下では、葉の精油成分濃度はそれぞれ赤色光下の1.7および1.9倍に高まった（西村ら 2007）。他方、赤色光下では、青色光および緑色光下に比べて、アントシアニン濃度が1.4および1.7倍に高まり、葉の乾物重が1.7および2.7倍に大きくなった。他方、吉田ら（2007）は、光強度が低い条件下でシソの葉の精油成分濃度が高まり、光強度が高い条件下でアントシアニン濃度が高まり、かつ葉の乾物重が大きくなると報告している。このように、現状では、精油成分およびアントシアニンの双方の濃度を高め、かつ生長も促進することができる光環境調節方法は見つかっていない。今後は、シソの高品質化とともに大量生産が可能な物理環境調節方法を検討する必要がある。

表1 物理環境要因が薬用植物の薬効成分生産に及ぼす影響に関する研究事例

物理環境	供試した薬用植物	文献	
光	光強度	セイヨウトギリソウ	Mosaleeyanonら 2005 Zobayedら 2006 Nishimuraら 2007
		シソ	吉田ら 2007
	光質	セイヨウトギリソウ	西村ら 2006a 西村ら 2006b Nishimuraら 2007
		シソ	西村ら 2007
気温	カンゾウ	Afreenら 2005 Afreenら 2006	
		セイヨウトギリソウ	Zobayedら 2005 Couceiroら 2006a
ガス	CO ₂	セイヨウトギリソウ	Mosaleeyanonら 2005 Zobayedら 2006

*千葉大学環境健康フィールド科学センター（Tetsuro Nishimura, Katsumi Oyama, Toyoki Kozai）

**千葉大学環境健康フィールド科学センター、千葉大学柏の葉診療所（Megumi Sumino）

(2) ハッカの薬効成分生産に及ぼす光環境の影響

シソと同じシソ科植物であるハッカ (学名: *Mentha arvensis* L. var. *piperascens* Mal.) の地上部 (生薬名: 薄荷) は, 虚弱体質や月経不順, 更年期障害に起因する不定愁訴に効果があるといわれる。加味逍遙散や、疳の強い小児の体質改善や慢性扁桃腺炎, 湿疹などに効果があるといわれる柴胡清肝湯などの漢方薬に配合されている。ハッカはハッカ属の植物の中でも, メントールを多く含んでいる。メントールは独特の風味および香りを持ち, 冷却麻酔効果もある。一般に, 菓子, 薬, オーラルヘルスケア製品, 化粧品, 紅茶およびタバコなど, 天然由来の香料として幅広く利用されている。

このハッカを青色光, 緑色光および赤色光下で育成したところ, 葉および茎のどちらのメントール濃度も光質の影響はみられなかった。ただし, 葉および茎の乾物重は, 赤色光下で青色光下の1.4倍, 緑色光下の1.3倍になったことから, 供試した3種類の光質の光源の中では, ハッカの生産には赤色光が適していると考えられるが, 詳細は現在調査中である。

(3) カンゾウの薬効成分生産に及ぼす光環境の影響

シソおよびハッカのように地上部 (葉, 茎および花芽) が生薬の原料になる植物以外にも, 地下部 (地下茎および根) が生薬の原料になる植物は多い。とくに, カンゾウ (学名: *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. など) の根およびストロン (生薬名: 甘草) は, グリチルリチンなどの薬効成分を含んでおり, 抗炎症作用や精神安定作用があることから, 風邪の治療薬として有名な葛根湯を代表に, 多くの漢方薬に配合されている。最近では, カンゾウの根には葉や茎に比べて, 睡眠効果などがあるメラトニンが高濃度で蓄積されていることも明らかとなっている (Afreen ら 2006)。

Afreen ら (2005, 2006) は, 光環境調節によりカンゾウの体内の薬効成分濃度を高められるのか検討した結果として, 赤色光下で育成すると, 青色および白色光下に比べて, 根のグリチルリチン濃度は1.8および1.4倍に, メラトニン濃度は1.9および2.4倍に高まるとともに, 根の乾物重は2.0および1.5倍になることを報告している。また, 生育後期

に UV-B (波長: 280~315 nm) の放射を照射することで, カンゾウの根のグリチルリチン濃度を非照射区の1.5倍に高められ, 高強度 (1.13 W m⁻², 3日間) の UV-B の放射を照射することで, メラトニン濃度を低強度 (0.43 W m⁻², 15日間) のその2倍, 非照射区の7倍に高められることから, 光合成有効波長域 (波長: 400~700 nm) の放射 (光) だけではなく, 紫外放射を適切に調節することにより, 根に蓄積される薬効成分濃度を高められることを示唆している (Afreen ら 2005, 2006)。あわせて, 他の物理環境条件も適切に制御することで, 圃場よりも短期間で収穫できる可能性も示唆している。

(4) セイヨウオトギリソウの薬効成分生産に及ぼす環境要因の影響

セイヨウオトギリソウ (学名: *Hypericum perforatum* L., 別名: セントジョーンズワート) は, 漢方薬には配合されていないが, 抗うつ作用があることで注目されていて, その抽出物を含むサプリメントは, 欧米だけではなく日本においても販売されている。その薬効成分は, 主にヒペリシン, シュードヒペリシンおよびヒペルフォリンであると言われている (Barnes ら 2001)。

このセイヨウオトギリソウを光強度や気温が一定の環境条件下で栽培すると, それらの変動する温室や圃場と比べて, 体内薬効成分濃度が高まるとともに, 生長も促進されることが報告されている (Zobayed and Saxena 2004, Mosaleeyanon ら 2005, 2006)。Mosaleeyanon ら (2005) は, 高光強度・高CO₂濃度下で育成すると, 植物体当たりのヒペリシンおよびシュードヒペリシン量は, 圃場で育成する場合のそれぞれ30および41倍になると報告している。また, 光質の調節によっても, 薬効成分量の増大が認められたとする報告もある (西村ら 2006a, 西村ら 2006b, Nishimura ら 2007)。セイヨウオトギリソウの薬効成分濃度は, 気温の調節 (Couceiro ら 2006a, Zobayed ら 2005) や CO₂ 施用 (Mosaleeyanon ら 2005, Zobayed ら 2006), 水ストレス (Zobayed ら 2007) によっても高めることができる。ただし, 薬効成分ごとにその影響は異なることから, 生産目的とする薬効成分にあわせた適切な気温や CO₂ 濃度の調節が, セイヨウオトギリソウの薬効成分の生産上重要となると考えている。他方,

閉鎖型薬用植物生産システムと同様に閉鎖された容器（培養器）内の物理環境を適切に調節することにより、無糖培養したセイヨウオトギリソウの生長量が增大したとの研究例（Couceiro ら 2006b, c）もこれまでに得られている。

3. 閉鎖型薬用植物生産システムの実用化のために

(1) 薬効成分生産効率

薬用植物を大量生産するシステムを構築する場合、単に植物体当たりもしくは面積当たりの薬効成分量の大小を評価するのではなく、生産物としての薬効成分を得るために薬効成分生産効率を以下のように表すべきであると考ええる。

$$\begin{aligned} & \text{薬効成分生産エネルギー量} \\ &= \frac{\text{薬効成分量}}{\text{投入したエネルギー量}} \\ &= \frac{\text{薬効成分濃度} \times \text{生長量}}{\text{投入したエネルギー量}} \end{aligned}$$

ここで、上記の式にあるエネルギーとは、電気、ガスや重油といった化石燃料、労働力、水の浄化や送水にかかわるエネルギー、肥料およびそれを作り出すためのエネルギーなど、投入される人為的なエネルギーの総和である。単純な式ではあるが、投入したエネルギーに対する薬効成分生産エネルギー効率を高めるためには、①投入エネルギー量および生長量を維持しつつも薬効成分濃度を増大させる、②投入エネルギー量および薬効成分濃度を維持しつつも生長量を増大させる、③薬効成分濃度および生長量を維持しつつ、生産システムの投入エネルギー量を低下させる、④薬効成分量（＝薬効成分濃度×生長量）を増大させつつ、生産システムの投入エネルギー量を低下させる、必要があることが理解できよう。もちろん、④のようになることが薬用植物大量生産システムの実用化のうえで最も好ましい。

前項の事例では、物理環境、とくに光環境が薬用植物体内の薬効成分濃度に及ぼす影響に関する事例を中心に報告した。ここで、閉鎖型システムは、光に不透明な断熱壁で覆われているために、人工光を利用して薬用植物を生産しなければならない。また、光源のエネルギー消費量は全体の70～80%を占

める（大山ら 2000, 2001）ことから、光源の種類を選択は閉鎖型薬用植物生産システムの実用化の上で非常に重要である。

(2) 光源の選択

エネルギー使用の観点からみると、現状では、青、緑、赤といった有色蛍光ランプよりも、白色もしくは昼白色蛍光ランプの方が高い発光効率^{注1)}を有する。一般に、前者は30～90 lm/W、後者は90～100 lm/W程度である。寿命に関しても、前者は6,000～8,000時間程度であるのに対し、後者は8,500～12,000時間程度と長寿命である。価格は、後者の光源が一般向けに大量生産されているために、前者の光源に比べて安価であることが多い。したがって、これらの状況を踏まえると、現状では、有色蛍光ランプを薬用植物生産に用いることは、閉鎖型薬用植物生産システムの実用化のうえで障壁となりうる。他方、蛍光ランプおよび発光ダイオード（LED）の発光効率は、今後も向上すると予想される。2007年12月14日付け日本経済新聞朝刊には、ある民間企業のLEDの発光効率では、これまで高発光効率（45 lm/W）といわれていたその1.4倍（65 lm/W）を達成するとともに、2008年中に実用化する、との報道もなされている。どのような光源を用いるかといった選択は、人工光源を利用した薬用植物生産の最重要課題であることから、光源の発光効率、薬効成分の増大効果および薬用植物の生長量などを勘案し、上記の式を参考にしながら行う必要がある。

一般に、人工光を利用した植物生産システムでは、育成した植物体のすべてが生産物として利用される（たとえば、植物苗など）、もしくは大部分が生産物として利用される葉菜類などの植物体の場合に最もエネルギー利用効率が高くなり、また、経営的にも好ましい。ただし、育成した植物体の一部分（たとえば、薬効成分、香料、香辛料など）のみが生産物として利用される場合でも、その一部分が非常に高価である、もしくは有用性が高い場合には、経営的に成り立ちうる。本稿では、そこまで踏み込んだ検討は行わなかったが、一方で、人工光を利用した閉鎖型薬用植物生産システムを実用化するうえでは、近い将来検討すべき必須事項であるとも考

注1) 光出力/消費電力。単位はlm/W（ルーメン/ワット）で表される。この数値が大きいくほど、電気エネルギーが可視光に変換される率が高いとみなされる

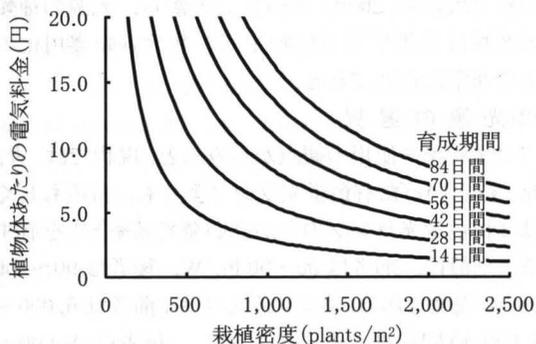


図3 閉鎖型システムにおける栽植密度および育成期間が植物体当たりの電気料金に及ぼす影響

128, 288 および 400 穴のセルトレイを用いて植物体を育成した場合の栽植密度は、それぞれ 711, 1,600 および 2,222 plants/m² に相当する。この計算にあたり、①完全断熱閉鎖された空間内で 60cm×120cm の棚 (面積: 0.72 m²) に高出力型の 40 W 型 Hf (高周波) 蛍光灯 (消費電力: 45 W) を 5 本設置する、②1 日当たりの明期を 16 h とする、③空調機の冷房時成績係数 (= システム外への熱エネルギー輸送速度/消費電力) は 6 である、④電気料金単価は 25 円/kWh である、と仮定した。この図から、栽植密度が高く、かつ育成期間が短いほど、植物体当たりの電気料金は小さくなる事がわかる。

えている。あわせて、環境保全面での評価も必要となると考える。

(3) 電力コスト

ここで、読者が最も危惧するであろう閉鎖型薬用植物生産システムにおける大まかな電気料金を計算してみる。なお、閉鎖型システムによる苗生産においては、苗生産コストに占める電気コストは 5% 程度である (Kozai 2005, Kozai ら 2005, Kozai 2007)。

計算にあたり、完全断熱閉鎖された空間内で 60 cm×120 cm の棚 (面積: 0.72 m²) に高出力型の 40 W 型 Hf (高周波) 蛍光灯 (消費電力: 45 W) を 5 本設置して、1 日当たりの明期 16 h の条件下で育成した場合を想定する。なお、これで適切な反射板などを設置すれば薬用植物の生育に必要な光強度 (光合成有効光子量子束にしておよそ 200~300 μmol m⁻² s⁻¹) は担保できる。

1 日当たりの照明にかかわる電気料金は、5 kWh/m² (=45 W×5 本×16 時間÷0.72 m²) となる。他方、システム内の気温を一定に維持するために使用される空調機の消費電力量は、冷房時成績係数 (= システム外への熱エネルギー輸送速度/消費電力) が 6 の器具を用いて照明の消費電力量と等し

い量の熱エネルギーをシステム外へ輸送すると仮定すると、0.8 kWh/m² (=5 kWh÷6) となる。照明と空調の消費電力量の和に電気料金単価を 25 円/kWh として乗じると、1 日当たりの電気料金は 146 円/m² (= (45 W×5 本×16 h + (45 W×5 本×16 h) ÷6) ×25 円/kWh) となる。この値に、育成期間を乗じ栽植密度で除せば、植物体当たりの電力料金が計算できる。

一例として、栽植密度が異なる条件下において 14~86 日間 (2~12 週間) 育成した場合の植物体当たり電気料金を図 3 に示す。この値とともに、植物体から生産できる生薬量もしくは薬効成分量に単価を乗じて金額換算した値および閉鎖型システムを利用したことによる品質向上効果を総合的に比較すれば、概略ではあるが、閉鎖型システムでどのくらいの栽植密度で何日間育成することが経営上好ましいと確認できる。おのずと、生薬もしくは薬効成分の単価が安い場合には、閉鎖型システムで育成する期間は短くし、その後前述のリスクを許容したうえで半閉鎖型システムで育成する期間を長くすることが、経営上好ましくなる。

(4) 今後の展望

漢方薬に用いられる生薬の品質は、現状では、単純に薬効成分の量だけではなく、色調や形態、味覚などの性状によっても評価される。一般に、人工光源を利用した場合の植物の形態は、自然環境下のそれと比べて異なる場合が多い。これは、人工光と自然光の光質 (波長組成) が異なるためである。したがって、人工光を利用した閉鎖型および半閉鎖型薬用植物生産システムの開発と生産技術の確立を図るうえでは、生薬の原料となる植物に対する新たな評価基準が必要となる可能性がある。このような評価基準に関しては、当センター内の東洋医学および薬学分野の専門家と連携をとりながら考えていきたい。他方、従来の生薬は、長期保存を目的として根を用いることが多かったが、閉鎖型および半閉鎖型システムで薬用植物を生産する場合、これまで用いられていなかった茎や葉にも薬効成分が蓄積する場合もある。したがって、茎や葉の有効利用、さらには薬効成分抽出技術の確立も今後の検討課題となるだろう。

近年、遺伝子組換え植物に関する研究がすすめられ、薬効成分を含めた有用物質を通常よりも多く含

む組換え植物体が作出されつつある。一方、組換え植物体の流出による近隣生態系の攪乱が、とくに、ヨーロッパやわが国において、社会的な懸案となっている。閉鎖型および半閉鎖型システムでは、システム内外の物質輸送をコントロールしやすい。とくに前者では、システム外部との接触を制限することも比較的容易であり、組換え植物体がシステム外へ流出する危険性を最小限に食い止めることも可能である。この場合、組換え植物体を閉鎖型システムで生産した後、有用物質のみを抽出してシステム外へ持ち出し、植物体自体はシステム外へ出さなくてもすむような生産体系を構築することも必要になるであろう。とはいえ、実用化にあたっては、今後、種々の側面から十分な検討が必要である。

4. まとめ

前稿では、まず、薬用植物の定義と薬効成分である2次代謝産物の概要を述べるとともに、その世界的な需要の増大とその背景には、開発途上国における人口増加や、先進国における高齢化に伴う医療費の高騰、健康志向などがあることを述べた。その後、西洋医学の補完代替医療として注目されつつある東洋医学、とくに漢方について論じ、薬用植物と漢方薬（生薬）との関係を解説した。前述のように、薬用植物生産に注目が集まりつつある一方、その乱獲や環境破壊を引き起こしていることから、需要の増大に対応するとともに、環境破壊の緩和をめざして、筆者らの研究グループで研究開発している閉鎖型および半閉鎖型薬用植物生産システムの概略を述べた。そして、本稿では、現在までの研究事例をとくに光環境に関する事例を中心に紹介した。最後に、環境工学的知見に基づき、閉鎖型薬用植物生産に関する総合的な考察を行った。将来的には、本研究を医学、薬学、農学、工学といった学問領域の障壁を取りはらい、横断的にさらに発展させ、地域住民の健康促進、ひいては地域の持続可能性（サステイナビリティ）向上の一端を担えればと考えている。

謝辞

本稿は、文部科学省科学技術振興調整費（戦略的拠点育成）事業の千葉大学担当分である「食と健康」に関する研究の一環として作成された。

引用文献

Afreen, F., S.M.A. Zobayed and T. Kozai 2005. Spectral quality and

- UV-B stress stimulate glycyrrhizin concentration of *Glycyrrhiza uralensis* in hydroponic and pot system. *Plant Physiol. Biochem.* 43:1074-1081.
- Afreen, F., S.M.A. Zobayed and T. Kozai 2006. Melatonin in *Glycyrrhiza uralensis*: response of plant roots to spectral quality of light and UV-B radiation. *J. Pineal Res.* 41:108-115.
- Barnes, J., L.A. Anderson and J.D. Phillipson 2001. St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.): A review of its chemistry, pharmacology and clinical properties. *Pharm. Pharmacol.* 53:583-600.
- Couceiro, M.A., F. Afreen, S.M.A. Zobayed and T. Kozai 2006a. Variation in concentrations of major bioactive compounds of St. John's wort: Effects of harvesting time, temperature and germplasm. *Plant Sci.* 170:128-134.
- Couceiro, M.A., F. Afreen, S.M.A. Zobayed and T. Kozai 2006b. Enhanced growth and quality of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) under photoautotrophic in vitro conditions. *In vitro Cell. Dev. Biol.-plant.* 42:1-6.
- Couceiro, M.A., S.M.A. Zobayed, F. Afreen, E. Goto and T. Kozai 2006c. Optimizing the duration of acclimatization under artificial light for St. John's wort plants grown photoautotrophically and photomixotrophically in vitro. *Environ. Control Biol.* 44(1):63-70.
- Kozai, T. 2005. Closed systems for high quality transplants using minimum resources (In: *Plant Tissue Culture Engineering*, SBN:1-4020-3594-2, (eds. Gupta, S. and Y. Ibaraki, p480.), Springer, Berlin. 275-312.
- Kozai, T., F. Afreen and S.M.A. Zobayed (eds.) 2005. Photoautotrophic (sugar-free medium) micropropagation as a new micropropagation and transplant production system, Springer, Dordrecht, The Netherlands, p315.
- Kozai, T. 2007. Propagation, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan, *Propagation of Ornamental Plants* 7(3):145-149.
- Mosaleyanon, K., S.M.A. Zobayed, F. Afreen and T. Kozai 2005. Relationships between net photosynthetic rate and secondary metabolite contents in St. John's wort. *Plant Sci.* 169:523-531.
- Mosaleyanon, K., S.M.A. Zobayed, F. Afreen and T. Kozai 2006. Enhancement of biomass and secondary metabolite production of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) under a controlled environment. *Environ. Control Biol.* 44(1):21-30.
- 西村徹郎・Sayed M. A. Zobayed・古在豊樹・後藤英司 2006a. 青色および赤色蛍光ランプの光質がセントジョーンズワート (*Hypericum perforatum* L.) の生長に及ぼす影響. *植物環境工学* 18:225-229.
- 西村徹郎・橋本尚佳・Sayed M.A. Zobayed・後藤英司 2006b. 光質がセントジョーンズワートの花成および薬効成分量に及ぼす影響. *農業環境工学関連学会 2006 年合同大会* p51.
- 西村徹郎・後藤英司・稲垣伸行・諸田隆 2007. 青色、緑色および赤色蛍光ランプの光質がアカジソの生長および2次代謝成分濃度に及ぼす影響. *日本生物環境工学会 2007 年創立記念大会* p132-133, 堺, 6 月, 2007 年.
- Nishimura, T., S.M.A. Zobayed, T. Kozai, E. Goto 2007. Medicinally important secondary metabolites and growth of *Hypericum perforatum* L. plants as affected by light quality and intensity. *Environ. Control Biol.* 45:113-120.
- 大山克己・吉永慶太・古在豊樹 2000. 閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(1)エネルギー収支. *植物工場学会誌* 12(3):167-170.
- 大山克己・藤原雅哉・古在豊樹・全昶厚 2001. 閉鎖型苗生産システムのナスセル成型苗育成時における電気エネルギーおよび水消費量. *植物工場学会誌* 13(1):1-6.
- 吉田英生・西村徹郎・後藤英司・稲垣伸行・諸田隆 2007. 光強度がアカジソの生長および2次代謝成分濃度に及ぼす影響. *日本生物環境工学会 2007 年創立記念大会* p156-157, 堺, 6 月, 2007 年.

Zobayed, S.M.A. and P.K. Saxena 2004. Production of St. John's wort plants under controlled environment for maximizing biomass and secondary metabolites. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 40:108-114.

Zobayed, S.M.A., F. Afreen and T. Kozai 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's wort. *Plant Physiol. Biochem.* 43:977-984.

Zobayed, S.M.A., F. Afreen, E. Goto and T. Kozai 2006. Plant-environment interactions : accumulation of hypericin in dark glands of *Hypericum perforatum*. *Annals of Bot.* 98(4):793-804.

Zobayed, S.M.A., F. Afreen and T. Kozai 2007. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. *Environmental and Experimental Botany.* 59:109-116.

(終)

 外国文献抄録

組換え近交系を用いたイネ幼植物の耐冷性に関する QTL 解析

Jiang, L., M. Xun, J. Wang and J. Wan 2008. QTL analysis of cold tolerance at seedling stage in rice (*Oryza sativa* L.) using recombinant inbred lines. *Journal of Cereal Science* 48:173-179.

イネ幼植物の耐冷性は温暖な高地における安定した活着に関わる重要な形質である。イネの発芽および初期成育における最適気温は 25~35℃と言われているが、15℃以下の低温ストレス条件では活着が不十分となり苗が枯死し、収量の低下を招く。本研究では、アソミノリ/IR24 に由来する組換え近交系 (RILs) を用いて幼植物の耐冷性に関与する量的形質遺伝子座 (QTL) を検出し、その効果の大きさを Qian ら (2000) の方法に従い評価した。また、供与親として IR24 を、反復親としてアソミノリを用いて育成された染色体断片置換系統群 (CSSLs) を用いて候補 QTL をさらに確認した。

2003 年夏、両親品種、RILs71 系統、CSSLs66 系統および対照品種として '昆明小白谷'、'日本晴'、'桂朝 2 号' の計 3 品種を供試し、江蘇省農業科学院実験圃場において栽培した。施肥および水管理は慣行に従った。成熟期に収穫した種子から実生を得て、気温 25℃、相対湿度 75~80% に調節したグロースチャンパーに移した後、3 葉期にチャンパー内で低温ストレス (6℃) に 7 日間さらした。徐々に気温を 25℃に戻してから 4 日目に枯死した幼植物の数を記録した。

すでに強い耐冷性を持つ品種として知られる '昆明小白谷' および '日本晴' は枯死率が 0% であった。一方、低温ストレスに感受性を持つ品種として知られる '桂朝 2 号' は、供試した個体すべてが枯死した。このことから、本研究における幼植物の耐冷性の評価は正確であったと考えられた。

複合区間マッピング法により 3 つの QTL, *qSCT-1* および *qSCT-5*, *qSCT-6* が第 1, 5 および 6 染色体上にそれぞれ検

出された。LOD 値はそれぞれ 4.1, 2.2, 2.3 であった。第 1 染色体上に検出された *qSCT-1* は全表現型分散の 24.51% を説明し、アソミノリ対立遺伝子が耐冷性の強化に関与した。他の 2 つの遺伝子座 (*qSCT-5* および *qSCT-6*) では IR24 対立遺伝子が耐冷性の強化に関与した。IR24 の耐冷性が弱いのは、耐冷性の強化に関与する *qSCT-5* および *qSCT-6* と他の IR24 遺伝子による相互作用によって IR24 の耐冷性遺伝子の発現が抑えられたためだと考えられた。検出された 3 つの QTL は、目的領域を持つ CSSLs4 系統によって支持された。IR24 対立遺伝子を *qSCT-1* に持つ CSSL-4 は高い枯死率を示した。一方で、IR24 対立遺伝子を *qSCT-5* および *qSCT-6* に持つ CSSL-28 および CSSL-31 は枯死率が 0% で高い耐冷性を示した。IR24 対立遺伝子を *qSCT-1* および *qSCT-6* に持つ CSSL-36 の枯死率はアソミノリより高く、IR24 より低かった。

検出された 3 つの QTL のうち *qSCT-1* だけが Qian ら (2000) が検出した耐冷性に関与する QTL と連鎖していたため、*qSCT-1* は耐冷性に関して安定して発現すると考えられた。一方、*qSCT-5* および *qSCT-6* は新しい遺伝子座であることが示唆された。また、本研究で検出された 3 つの QTL は、発芽や栄養成長期、生殖成長期といった他の生育段階における耐冷性に関与する既知のどの QTL とも連鎖しなかったことから、耐冷性は発生的な制御を受け、生育段階によって特異的に発現すると考えられた。

幼植物の枯死率が 0% であった CSSL-28 および CSSL-31 が超越分離によって強い耐冷性を示したことから、イネの耐冷性を強化できると考えられる。マーカー利用選抜によって耐冷性の強化に関与する日本型対立遺伝子のインド型品種への導入、あるいはインド型対立遺伝子由来 QTL の集積による耐冷性の強化が容易になると考えられる。

(東京大学大学院農学生命科学研究科作物学研究室 野崎億春)