

エアープランツ(Tillandsia magnusiana)の降下窒素化合物の利用特性

誌名	宇都宮大学農学部學術報告 = Bulletin of the College of Agriculture, Utsunomiya University
ISSN	05664691
著者名	関本,均 落合,美和子 多田,晃子
発行元	[宇都宮大学農学部]
巻/号	18巻3号
掲載ページ	p. 9-16
発行年月	2003年3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



エアープランツ (*Tillandsia magnusiana*) の 降下窒素化合物の利用特性

関本 均・落合美和子・多田 晃子

Utilization of nitrogenous fallouts by an airplant (*Tillandsia magnusiana*)

Hitoshi SEKIMOTO, Miwako OCHIAI and Akiko TADA

Résumé

One of airplants, *Tillandsia magnusiana* is a unique rootless plant developed foliar absorption of water and nutrients. *Tillandsia magnusiana* would be assumed to have the higher ability to uptake nitrogenous compounds (NO_3^- , NH_4^+) containing in dry deposition like aerosol, and in wet deposition such as acid rain and acid fog. Then we conducted the experiment to expose ^{15}N -labeled ammonium sulfate or potassium nitrate as nitrogenous fallouts, which were atomized by oscillator type humidifier, to *Tillandsia magnusiana*. Also studied about characteristics of *Tillandsia magnusiana* led to the ability.

The amount of exposed $^{15}\text{NO}_3^-$ uptake by foliar absorption was very low, only 0.06 % of total nitrogen of the plant. In contrast, the amount of exposed $^{15}\text{NH}_4^+$ uptake was 15 times higher than that of $^{15}\text{NO}_3^-$ uptake. The rate of utilization of nitrogenous fallouts by *Tillandsia magnusiana* was 1.8 % in NO_3^- and 21.6 % in NH_4^+ , indicating that NH_4^+ fallout was utilized easier than NO_3^- fallout.

Cation exchange capacity (CEC) regarded as the ability of cations adsorption in leaves of *Tillandsia magnusiana* was 4-fold higher than that in azalea, and 37-fold higher compared with cedar, Hinoki cypress and pine, respectively. It would be caused by a morphological characteristics of wiry leaves in *Tillandsia magnusiana*.

Possessing higher ability of cations adsorption in leaves would be advantageous to uptake cations like NH_4^+ fallout, led to the fact that NH_4^+ fallout was utilized easier than NO_3^- fallout.

緒 言

エアープランツは、中南米の熱帯から亜熱帯かけて広く分布するアナナス科チランジア属の植物の総称である。エアープランツの多くは、砂漠やサバンナなどの乾燥地に自生し、樹木の枝や岩石に着生するので、空中植物すなわちエアープランツと呼ばれる。いろいろな環境に対する適応性に優れ、土、水、採光や肥料を気にせず家庭でも十分に育てられるので、インテリアとしての活用が注目されている園芸作物の一つである²⁾。

エアープランツには、次のような生理生態的特徴がある⁴⁾。(1) 一般にエアープランツは直射日光に弱く、2000～7000lx 程度の照度を好む。(2) エアープランツの葉は細

かい毛で覆われ、夜露や雨をこの毛状組織でとらえて、葉の表面から吸水する。スポンジ状の葉鞘や鱗片などの貯水組織が発達しているため、極めて乾燥に強い。野外では夜露や雨で、屋内では湿度60%以下の時に週 2、3 回霧吹きをすれば、十分に水分を保つことができる。また、乾燥地帯に生育するサボテンと同じ CAM 植物であり、気孔は夜間に開く。したがって、水分補給は夕方がよい。(3) 根は着生するためのアンカーの役目だけで、養水分の吸収機能はない。(4) 養分も水分と同様に葉の毛状組織でとらえて、葉の表面から吸収すると言われており、春と秋の生育期には観葉植物用の液肥を希釈して霧吹きで与える。

大気環境中に生育する植物は、エアロゾルなどの乾性沈着物質とそれが降水中に取り込まれて降下・沈着する湿性

沈着物質の影響を受けており⁸⁾、大気中の窒素化合物である窒素酸化物やアンモニア⁷⁾も乾性または湿性沈着物質として植物葉に沈着し、養分として吸収利用される場合がある。エアープランツは茎葉部から養水分を吸収利用するので、沈着した窒素化合物を利用する能力も高いと推察される。植物による大気中の窒素化合物の吸収に関しては、大気汚染という観点から、植物によるNO₂やNH₃ガスの吸収に関する知見が多い^{3, 10, 12~14, 16, 22, 23)}。また、肥料成分の葉面吸収に関する研究もある^{6, 19, 20)}が、いずれも作物や緑化植物が研究対象であり、エアープランツを供試した、植物による降下窒素化合物の吸収利用に関する研究例はない。

そこで、エアープランツに重窒素(¹⁵N)標識した硝酸態窒素およびアンモニア態窒素を降下窒素化合物として与えて、エアープランツの降下窒素化合物の吸収利用について検討した。また、その特性をもたらす生理生態的特徴を検討した。

材料および方法

1. 実験1 エアープランツの降下窒素化合物の吸収利用

1) 供試したエアープランツと栽培方法

エアープランツには、メキシコおよびエルサルバドル原産で、ロゼットタイプの中型種である *Tillandsia magnusiana* を用いた (Fig. 1)。ガラスハウス内に小型

のビニールハウス (底面積2600cm² (40×65cm) 高さ75cm) を設置し、プラスチックで作製した固定台 (3×3×2 cm) に個々の葉鞘基部をのせて、ビニールハウス上段 (高さ35cm) の半面 (面積1300cm²) に、エアープランツ14個体を隙間なく静置した (Fig. 2)。¹⁵N 標識硝酸 (¹⁵NO₃⁻) およびアンモニア (¹⁵NH₄⁺) を曝露させながら、1998年4月17日～7月22日の97日間、栽培した。なお、栽培開始時のエアープランツは、草丈 約10cm、一個体の新鮮重 約7.5g であった。

2) ¹⁵NO₃⁻ および ¹⁵NH₄⁺ の曝露方法

(1) ¹⁵NO₃⁻ および ¹⁵NH₄⁺ 降下量の設定

安田が報告した降水成分の年間負荷量のデータ²¹⁾ から、NO₃⁻ は2300mg/m²/年、NH₄⁺ は1200mg/m²/年という降下量に設定した。この降下量を、エアープランツが静置されている小型のビニールハウスの底面積 (2600cm²) に、1週間分を3日 (3回) で達成するとして、¹⁵NO₃⁻ は3.8mg/0.26m²/回、¹⁵NH₄⁺ は2mg/0.26m²/回を曝露することにした。¹⁵NO₃⁻ は¹⁵N 標識硝酸カリウム (K¹⁵NO₃: 10.7atm%) で、¹⁵NH₄⁺ は¹⁵N 標識硫酸アンモニウム ((¹⁵NH₄)₂SO₄: 10.9atm%) で与えた。

(2) 供与する水分量の設定

予備試験の結果、エアープランツの育成には1個体当たり2mlの水分を週2回噴霧すること (4ml/個体/週) が適当であった。これは、14個体を静置してある1300cm²当た



Fig. 1. An airplant (*Tillandsia magnusiana*) used in this study.

りで56ml/週、底面積(2600cm²)当たりでは、112ml/週に相当する。週3回供与するとして、40ml/回に設定した。

(3) ¹⁵NO₃⁻および¹⁵NH₄⁺の曝露方法

(1)と(2)の設定から、¹⁵NO₃⁻は3.8mg/40ml/回、¹⁵NH₄⁺は2mg/40ml/回を週3回、加湿速度240ml/hrの振動板式加湿器(超音波加湿器)で与えた。つまり、蒸留水で163mg/lのK¹⁵NO₃または183mg/lの(¹⁵NH₄)₂SO₄溶液を作り、これらを毎週月曜日、水曜日、金曜日の3回、午後6時から10分間、振動板式加湿器(超音波加湿器)で、小型ビニールハウス内に静置したエアープランツに噴霧した。加湿器はビニールハウスの底面に置き、斜め上方に噴霧することによって、ハウス上段のエアープランツの頭上にかかるように設置した(Fig. 2)。なお、14個体のエアープランツは一週間に一度、静置する場所を入れ替えた。

降下窒素化合物の沈着は、エアロゾルなどの乾性沈着とそれが降水中に取り込まれて降下・沈着する、いわゆる酸性雨や酸性霧などの湿性沈着があり⁸⁾、窒素酸化物(NO_x)は酸化されてNO₃⁻エアロゾルに、アンモニアガス(NH₃)はNH₄⁺エアロゾルになる⁹⁾ので、NO₃⁻およびNH₄⁺は、乾性の無機エアロゾルに分類される¹⁾。今回の¹⁵NO₃⁻または¹⁵NH₄⁺の曝露は、エアープランツ全体が¹⁵NO₃⁻または¹⁵NH₄⁺の霧に包まれるほどではなく、エアープランツの上方付近では、霧が消える状況にあったので、NO₃⁻またはNH₄⁺を含むエアロゾルによる乾性沈着とそれらがミストに溶解して沈着した湿性沈着が混在する環境であったと考えられた。なお、K¹⁵NO₃および(¹⁵NH₄)₂SO₄溶液のpHは、それぞれ6.0、5.8であり、酸

性雨、酸性霧として定義されるpH5.6以下よりもやや高かった。

(4) 実際に降下した窒素化合物量の把握

ほこり、塵、大気中窒素化合物のバックグラウンド汚染などに由来する窒素ではなく、実際に降下した窒素化合物量を把握するために、小型ビニールハウス内に静置した14個体のエアープランツに並列させて、シャーレに入れたろ紙(直径9cm、63.6cm²)を置いた(Fig. 2)。栽培終了時に、ろ紙の全窒素と¹⁵N濃度を調べ、実際に降下した窒素化合物量を求めた。

3) 成育調査

窒素化合物の曝露開始時に8個体、曝露終了時(栽培終了時)に各試験区14個体のエアープランツの乾物重を調査した。エアープランツは蒸留水で10分間浸漬・洗浄して、葉面に付着している¹⁵NO₃⁻および¹⁵NH₄⁺を除去した後、80°Cで乾燥させて乾物重を測定した。

4) 試料の全窒素含量および¹⁵N濃度の測定

曝露終了時に、一試験区の14個体の中から平均的な個体を任意に4個体選抜し、エアープランツ茎葉部の全窒素含量および¹⁵N濃度の測定を行った。乾燥・粉碎試料0.8gをサリチル硫酸分解し、分解液中のアンモニア態窒素をインドフェノール法¹⁸⁾で定量して全窒素含量を算出した。試料中の¹⁵N濃度の測定は発光分光分析法^{11, 15)}で行った。¹⁵N濃度の発光分光分析法ではアンモニア態窒素の拡散濃縮操作が通常行われる¹⁰⁾が、操作過程でのコンタミネーションが懸念されたので、全窒素含量測定に用いた分解液を内径4mmのガラス管に直接封入し、試料溶液を減圧乾固させた後、放電管を作成して¹⁵N濃度を測定した。

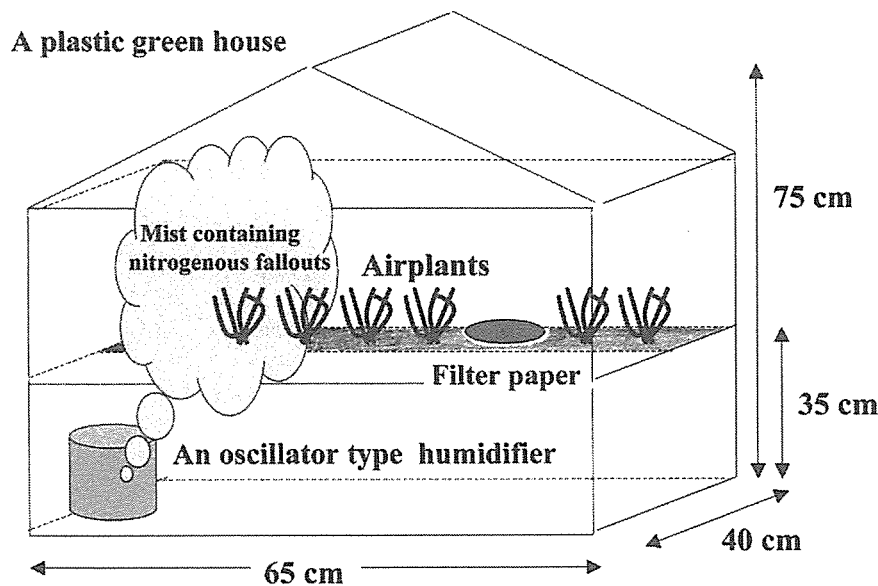


Fig. 2 The method to expose the nitrogenous fallouts to airplants.

2. 実験2 エアープランツ茎葉部の陽イオン交換容量

1) 供試植物

エアープランツは、実験1と同じ *Tillandsia magnusiana* を用いた。比較対照として、ツツジ、スギ、ヒノキおよびクロマツ（いずれも宇都宮大学峰キャンパス内で採取）の葉を供試した。なお、供試したエアープランツ、ツツジ、スギ、ヒノキおよびクロマツの水分含量は、それぞれ79.4、56.0、72.9、55.6および46.5%であった。

2) 茎葉部の陽イオン交換容量の測定方法

茎葉部の陽イオン吸着能力を表す指標として、植物茎葉部の陽イオン交換容量を測定した。ここでは、根の陽イオン交換容量の測定方法¹⁾を茎葉部に適用し、Cinelli and Vitiの方法²⁾を採用して測定した。すなわち、軽く蒸留水で洗浄した各供試植物の葉身の新鮮物2gを100mlの0.05Nの塩酸(HCl)に3分間浸し、その後蒸留水で1分間浸漬を3回繰り返して、洗浄した。続いて100mlの0.05Nの硝酸カルシウム(Ca(NO₃)₂)溶液に3分間浸漬し、蒸留水で1分間浸漬を3回繰り返して、洗浄した。軽く水を切り、再び100mlの0.05NのHClに3分間、攪拌しながら浸漬した。浸漬後の0.05NのHCl溶液を回収し、ろ過後に100mlに定容した。試料溶液中のCa濃度を原子吸光法で測定し、Ca量から陽イオン交換容量を求めた。一供試植物当たり5回測定を繰り返し、その平均値を算出した。また、浸漬終了後の植物体はすみやかに80℃で乾燥し、乾物重当たりで陽イオン交換容量を評価した。なお、試験は一試験区5連で行った。

結果および考察

1. 実験1 エアープランツの降下窒素化合物の吸収利用

1) 降下窒素化合物量

ビニールハウス内に静置したろ紙の全窒素含量、¹⁵N濃度およびそれらから計算したろ紙上(63.6cm²)に降下した

窒素量、さらにエアープランツ1個体当たり降下した窒素量をTable 1に示した。¹⁵NO₃⁻曝露区(以後¹⁵NO₃⁻区)および¹⁵NH₄⁺曝露区(以後¹⁵NH₄⁺区)のろ紙に降下した窒素量は、それぞれN. 0.0947mg/ろ紙およびN. 0.1229mg/ろ紙であった。降下窒素化合物量はいずれもN. 0.1mg前後であり、¹⁵NO₃⁻区と¹⁵NH₄⁺区でほとんど同じレベルであった。これらの降下窒素量(63.6cm²当たり、97日間)を1m²当たり1年間に換算するとそれぞれ、NO₃⁻では248.1mg、NH₄⁺では93.5mgであった。これらは、設定した降下窒素化合物量(NO₃⁻は2300mg/m²/年、NH₄⁺は1200mg/m²/年)の1/10～1/13であり、本実験では設定したとおりに窒素化合物を降下させられなかった。加湿器はビニールハウスの底面に置き、斜め上方に噴霧してハウスの上段に静置したエアープランツの頭上に霧がかかるようにしたが、霧はビニールに直接かかることが多かった。噴霧した¹⁵NO₃⁻や¹⁵NH₄⁺がビニール表面に沈着したために、降下窒素化合物量は設定よりも少なくなった可能性が考えられる。

ろ紙上に降下した窒素量とエアープランツの栽植密度(14個体/1236.4cm²)から算出されるエアープランツ1個体当たりへの降下窒素量(A)は¹⁵NO₃⁻区(0.131mg/plant)と¹⁵NH₄⁺区(0.171mg/plant)とで、ほとんど同じであった(Table 1)。

2) ¹⁵NO₃⁻または¹⁵NH₄⁺曝露によるエアープランツの成長

Table 2に97日間の成長量を示した。¹⁵NO₃⁻区と¹⁵NH₄⁺区ともに、乾物で200mg弱の成長(C-B)が認められた。成長量は¹⁵NO₃⁻区と¹⁵NH₄⁺区とで差はなかった。

3) エアープランツによる降下窒素化合物の利用効率

¹⁵NO₃⁻区と¹⁵NH₄⁺区の全窒素含量、¹⁵N濃度およびそれらから算出されるエアープランツによる降下窒素化合物の吸収量および利用率をTable 3に示した。¹⁵NO₃⁻区の

Table 1. The amount of nitrogen originated from the nitrogenous fallouts.

Nitrogenous fallouts	Total nitrogen containing in the filter paper (N.mg / filter paper)	¹⁵ N abundance (atm % excess)	Amount of nitrogen originated from the nitrogenous fallouts (N.mg / filter paper)	Amount of exposed nitrogen as nitrogenous fallouts* (N.mg / plant) (A)
NO ₃ ⁻	0.281	3.345	0.0947	0.131
NH ₄ ⁺	0.326	3.824	0.1229	0.171

Data are means (n=1).

* Calculated values of conversion from the amount of nitrogen originated from nitrogenous fallouts in the filter paper (63.6 cm²) into 1236.4 cm² for 14 airplants (1300 cm² of the shelf area — 63.6 cm² of the filter paper's area).

Table 2. Growth of airplant after exposure to the nitrogenous fallouts.

Nitrogenous fallouts	Dry weight (mg/plant)		Net growth (mg / plant) (C-B)
	Before exposure (B)*	After exposure (C)	
NO ₃ ⁻	914.7 ± 50.9	1083.0 ± 53.6	168.3
NH ₄ ⁺	914.7 ± 50.9	1110.5 ± 32.0	195.8

Data are means ± SE (Before : n=8, After : n=14).

* Average of the plant material at the beginning of the nitrogenous fallouts exposure.

Table 3. The amount of nitrogen uptake in airplant from the nitrogenous fallouts.

Nitrogenous fallouts	Dry weight (mg / plant)	Total nitrogen content (%)	Total nitrogen* (N.mg / plant)	¹⁵ N abundance (atm % excess)	Amount of nitrogen uptake from the nitrogenous fallouts (N.mg / plant) (D)	Percentage of the amount of nitrogen uptake to that of the exposed nitrogen as nitrogenous fallouts ** (%)
NO ₃ ⁻	1096.6 ± 80.8	0.36 ± 0.03	3.95	0.006 ± 0.009	0.0024 ± 0.0037	1.8
NH ₄ ⁺	1146.8 ± 29.0	0.27 ± 0.04	3.10	0.112 ± 0.023	0.037 ± 0.008	21.6

Data are means ± SE (n=4).

* Calculated value.

** The ratio of D (the amount of nitrogen uptake from the nitrogenous fallouts) to A (the amount of exposed nitrogen as nitrogenous fallouts) shown in Table 1.

¹⁵N 濃度は ¹⁵N の自然存在比 (0.37atm%) レベルであり、10.7atm% の ¹⁵NO₃⁺ を与えたにもかかわらず、¹⁵N 濃度 (atm%excess) は非常に低かった。そのため、測定値が変動して標準誤差が大きくなった。エアープランツによる降下窒素化合物の吸収量 (D) は、それぞれ ¹⁵NO₃⁻ 区で N. 0.0024mg / plant、¹⁵NH₄⁺ 区で N. 0.037mg / plant であり、¹⁵NO₃⁻ 区ではエアープランツに取り込まれた窒素量は著しく低く、全窒素含量の0.06%に過ぎなかった。一方、降下 ¹⁵NH₄⁺ の吸収量は ¹⁵NO₃⁻ よりも15倍高く、全窒素含量の1.2%相当が降下 ¹⁵NH₄⁺ として取り込まれた。降下窒素化合物量 (Table 1 のA) と降下窒素化合物のエアープランツによる吸収量 (Table 3 のD) から求められる降下窒素化合物の利用率は、¹⁵NO₃⁻ 区の1.8%に対して ¹⁵NH₄⁺ 区では21.6%であり、¹⁵NH₄⁺ 区の方が ¹⁵NO₃⁻ 区よりも12倍高かった。

以上のように、エアープランツによる降下窒素化合物の利用率は、NO₃⁻ よりも NH₄⁺ の方が顕著に高く、降下 NH₄⁺ は明らかにエアープランツに利用されやすかった。なお、¹⁵NO₃⁻ 区では、エアープランツに取り込まれた窒素量は著しく低かったにもかかわらず、乾物で約200mg弱の成長が認められた。曝露した ¹⁵NO₃⁻ 以外のほこり、塵、NOx のバックグラウンド汚染⁵⁾ などからの窒素供給があった可能性が考えられる。

植物による大気中の窒素化合物の吸収率は、例えば、Yoneyama ら²²⁾ のデータから、曝露した ¹⁵NO₂ 濃度とチャンバー容量から ¹⁵NO₂ 曝露量を算出して、植物体中に取り込まれた ¹⁵N の総量から吸収率を計算すると、ヒマワリ葉面からの曝露 ¹⁵NO₂ の吸収率は24時間で6.5 %になった。また、松丸¹⁰⁾によれば、葉における曝露 NO₂ の吸収率は、トマトで18~40%、ヒマワリで25~53%、トウモロコシで13~21%

であったと報告している。小川¹³⁾は、埼玉県における沿道緑地帯による NO_x の吸収について調査し、沿道緑地帯の NO_x 吸収量は前面道路走行車から排出される NO_x 量の 0.9~1.6% と見積もり、埼玉県における NO_x 排出量に対する緑地の NO_x 吸収量の割合（吸収率）は約 7% であったと報告している。さらに、1 mg/l の ¹⁵NH₃ を曝露したところ、24 時間で 43% がトウモロコシ幼植物に吸収されたという報告¹⁶⁾もある。一方、窒素化合物の葉面吸収に関する研究は古くからある^{6, 19)}。¹⁵N 標識した尿素、NO₃-N および NH₄-N の溶液 (N: 1 g/l) をトマト葉面に塗布した最近の研究²⁰⁾では、各窒素化合物の 4 日間の吸収率は、尿素で 85.1%、NO₃-N で 38%、NH₄-N で 46% であったと報告されている。

以上のような知見は、ガス状の NO_x や NH₃ の植物葉による吸収実験または高濃度の窒素化合物溶液を葉面に塗布した実験によるものである。本実験は、茎葉部における乾性および湿性の窒素降下物としての NO₃⁻、NH₄⁺ の吸収実験なので、直接的に比較することはできないが、本実験で得られた降下窒素化合物量の利用率の程度 (¹⁵NO₃⁻ 区で 1.8%、¹⁵NH₄⁺ 区で 21.6%) は、上述した知見のレベルと著しく異なることはなかった。

2. 実験 2 エアープランツ茎葉部の陽イオン交換容量

Fig. 3 に各植物茎葉部の陽イオン交換容量を示した。エアープランツ茎葉部の陽イオン交換容量は、ツツジの 4 倍、スギ、ヒノキ、クロマツの 37 倍大きかった。エアープランツは針状葉を持つこと、葉には無数の毛状組織が発達していることなどの形態的な特徴がある。陽イオン交換容量が他の植物茎葉部に比べて大きいことは、この形態的特徴に起因すると考えられる。そのため、茎葉部の陽イオ

ン交換容量は単位乾物重当たりではなくて、単位表面積当たりで評価すべきかもしれない。

陽イオン交換容量は、陽イオンの吸着能力の指標になるので、陽イオン交換容量の大きい茎葉部は、陽イオン性の降下物を吸着しやすく、利用しやすいと考えられる。実験 1 で得られた、エアープランツによる降下窒素化合物の利用率は、NO₃⁻ よりも NH₄⁺ の方がはるかに高く、降下 NH₄⁺ はエアープランツに利用されやすかったという結果は、茎葉部の陽イオン交換容量が大きく、陽イオンを吸着、利用しやすいというエアープランツの特徴に由来すると考えられた。なお、コムギ根やトマト根の陽イオン交換容量は、23~62 me/100 g 乾物である⁹⁾。エアープランツ茎葉部の陽イオン交換容量は他の植物茎葉部よりも大きかったが、一般の植物根の 1/4~1/10 であり、根の陽イオン交換容量よりは低いレベルであった。

ヒマワリやトマトは単位葉面積当たりの NO_x 吸収量が大きい植物であり^{12, 14, 23)}、これらは大気中の NO_x 環境の指標植物としての利用が期待されている。藤沼ら³⁾は、大気浄化植物の条件として葉面のガス吸収能力が大きいこと、ガス状大気汚染による障害や影響を成育量として受けにくいこと、大気浄化能力が十分に発揮できるような植栽上の特徴（草型、葉面積密度など）を持つことをあげている。エアープランツは、大きな葉を持たず、成育も旺盛ではないので、ヒマワリやトマトのように単位葉面積当たりのガス状窒素化合物吸収量が大きくなることはない。したがって、大気中のガス状窒素化合物の浄化やその指標植物にはなりにくい。しかし、エアープランツには、茎葉部の陽イオン交換容量が大きく、陽イオン性の降下物を吸着できる能力が高いこと、根がないので窒素の経根吸収を考慮しなくてよい

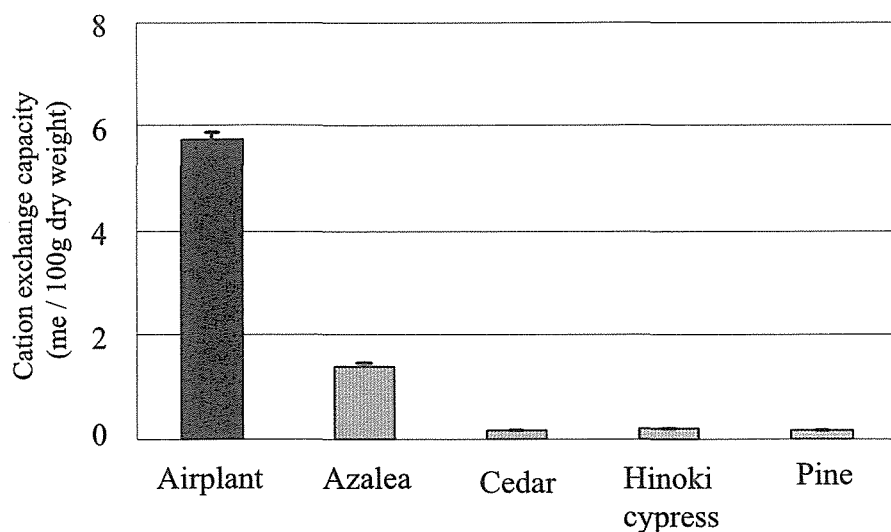


Fig. 3. Cation exchange capacity of leaf of the plants.
Vertical bars denote the SE of each mean (n=5).

ため、大気由来の降下窒素化合物を直接評価できるという特徴があるので、エアープランツは NH_4^+ などの陽イオン性降下物の沈着を評価できる指標植物になるかもしれない。

摘 要

大気環境中に成育する植物は、エアロゾルなどの乾性沈着物質とそれが降水中に取り込まれて降下・沈着する湿性沈着物質の影響を受けており、大気中の窒素化合物である窒素酸化物やアンモニアも乾性または湿性沈着物質として植物葉に沈着し、養分として吸収利用される場合がある。エアープランツ (*Tillandsia magnusiana*) は茎葉部から養水分を吸収利用するので、沈着した窒素化合物を利用する能力も高いと推察される。そこで、エアープランツに重窒素 (^{15}N) 標識した硝酸態窒素およびアンモニア態窒素を降下窒素化合物として与えて、エアープランツの降下窒素化合物の吸収利用に関する特性を把握すると同時に、その特性をもたらす生理生態的特徴を検討した。 $^{15}\text{NO}_3^-$ または $^{15}\text{NH}_4^+$ を含む溶液を振動板式加湿器 (超音波加湿器) で、降下窒素化合物として NO_3^- または NH_4^+ を含むエアロゾルによる乾性沈着とそれらがミストに溶解して沈着した湿性沈着が混在する環境で曝露した。

$^{15}\text{NO}_3^-$ 区の ^{15}N 濃度は ^{15}N の自然存在比 (0.37atm%) レベルであり、10.7atm% の $^{15}\text{NO}_3^-$ を与えたにもかかわらず、 ^{15}N 濃度は非常に低く、エアープランツによる降下 $^{15}\text{NO}_3^-$ の吸収量は、全窒素含量の0.06%に過ぎなかった。一方、降下 $^{15}\text{NH}_4^+$ の吸収量は $^{15}\text{NO}_3^-$ よりも15倍高く、全窒素含量の1.2%相当が降下 $^{15}\text{NH}_4^+$ としてエアープランツに取り込まれた。降下窒素化合物量の利用率は $^{15}\text{NO}_3^-$ 区で1.8%に対して、 $^{15}\text{NH}_4^+$ 区では21.6%であり、 $^{15}\text{NH}_4^+$ 区の方が $^{15}\text{NO}_3^-$ 区よりも12倍高かった。このように、エアープランツによる降下 NH_4^+ 利用率は NO_3^- よりも顕著に高く、降下 NH_4^+ の方が明らかにエアープランツに利用されやすかった。

エアープランツ茎葉部の陽イオンの吸着能力を表す指標として、茎葉部の陽イオン交換容量を調べたところ、エアープランツのそれは、ツツジの4倍、スギ、ヒノキ、クロマツの葉の37倍大きかった。エアープランツは針状葉を持つこと、葉には無数の毛状組織が発達していることなどの形態的な特徴が茎葉部の大きな陽イオン交換容量をもたらすと推察された。陽イオン交換容量の大きい茎葉部は、陽イオン性の降下物を吸着しやすく、利用しやすいと考えられる。エアープランツによる降下窒素化合物の利用率は、 NO_3^- よりも NH_4^+ の方が顕著に高いという結果は、この特徴に由来すると思われる。このように、エアープラン

ツには、茎葉部の陽イオン交換容量が大きく、陽イオン性の降下物を吸着できる能力が高いこと、根がないので窒素の根根吸収を考慮しなくてよいため、大気由来の降下窒素化合物の吸着と利用を直接評価できるという特徴があるので、エアープランツは NH_4^+ などの陽イオン性降下物の沈着を評価できる指標植物になるかもしれない。

謝 辞

^{15}N 濃度の測定に当たって、放電管の作成および発光分光分析のご指導をいただいた、新潟大学農学部の大山卓爾教授、末吉 邦助教授、大竹憲邦博士および佐藤 孝博士 (現秋田県立大学) に感謝の意を表します。また、実験の遂行にご協力いただいた、宇都宮大学農学部植物栄養学・肥料学研究室の大学院生、学生諸氏に深謝いたします。

引用文献

- 1) 秋元 肇・河村公隆・中澤高清・鷲田伸明編 (2002) 対流圏大気の化学と地球環境, 学会出版センター: 172.
- 2) Cinelli F. and Viti R. (1995) Practical use of root cation exchange capacity as a predictive marker of lime-induced chlorosis tolerance in *Prunus cerasifera* L. rootstocks. *J. of Plant Nutrition*. 18: 65-75.
- 3) 藤沼康実・岡野邦夫・名取俊樹・戸塚 績 (1985) 大気浄化植物の検索—広葉樹種における葉面拡散抵抗特性の種間差異—. 公害研報. 82: 13-28.
- 4) グリーンライフセンター編 (1997) エアープランツのわかる本, 双葉社: 78-120.
- 5) 原田 朗 (1973) 大気バックグラウンド汚染, 共立出版: 86-88.
- 6) 熊澤喜久雄 (1977) 植物栄養学大要, 養賢堂: 53-55.
- 7) 真木太一 (2000) 大気環境学, 朝倉書店: 74.
- 8) 真木太一 (2000) 大気環境学, 朝倉書店: 100.
- 9) Marschner H. (1995), Mineral nutrition of higher plants, Academic Press: 9-10.
- 10) 松丸恒夫 (1994) 作物の光化学オキシダント被害に関する研究. 千葉農試特報. 27: 31-41.
- 11) 三井進午・吉川春寿・中根良平・熊澤喜久雄編 (1980) 重窒素利用研究法, 学会出版センター: 17-45.
- 12) 名取俊樹・戸塚 績 (1980) 二酸化窒素の短期および長期曝露に伴う植物のガス吸着速度を支配する植物側の要因について. 大気汚染学会誌. 15: 329-333.
- 13) 小川和雄 (1993) 沿道緑地帯による窒素酸化物低減効果に関する研究. 埼玉県公害センター研報. 20: 49-72.

- 14) 岡野邦夫 (1987) ^{15}N 希釈法による植物の NO_2 吸収能の評価. 公害研研報. 108:89-101.
- 15) 大山卓爾 (1982) ライフサイエンスのための安定同位体利用技術 (IV) 発光分光法による ^{15}N アミノ酸分析. *Radioisotopes*. 31:212-221.
- 16) Porter, L. K., Viets, F. G. and Hutchinson, G. L. (1972) Air containing nitrogen-15 ammonia: foliar absorption by corn seedlings. *Science*. 175: 759-761.
- 17) Rengel, Z. and Robinsons, D. L. (1989) Determination of cation exchange capacity of rygrass roots by summing exchangeable cations. *Plant Soil*. 116:217-222.
- 18) 植物栄養実験法編集委員会編 (1990) 植物栄養実験法, 博友社: 174-203.
- 19) 高井康雄・早瀬達郎・熊澤喜久雄編 (1987) 植物栄養 土壤肥料大事典, 養賢堂: 180-182.
- 20) Tan X. W., Ikeda H. and Oda M. (1999) Absorption, translocation, and assimilation of foliar-applied urea compared with nitrate and ammonium in tomato plants. *Soil Sci. Plant Nutr*. 45: 609-616.
- 21) 安田 洋 (1993) 酸性雨 1 どんな雨が降っているのか - 酸性雨の現状と地域性 - . 土肥誌. 64:448-455.
- 22) Yoneyama, T., Arai K. and Totsuka T. (1980) Transfer of nitrogen and carbon from a mature sunflower leaf- $^{15}\text{NO}_2$ and $^{13}\text{CO}_2$ feeding studies. *Plant Cell Physiol*. 21:1367-1381.
- 23) 米山忠克・笹川英夫・戸塚 績・山本幸男 (1985) 高等植物の生長に及ぼす二酸化窒素の影響 (5) 草本植物による $^{15}\text{NO}_2$ の吸収、亜硝酸還元酵素活性の変化. 公害研研報. 2:103-111.
- 24) 吉田 彰監修 (1997) 食虫植物とふしぎ植物, 成美堂出版: 35, 60-63.

(2002年8月30日受付)

(2002年10月30日受理)