

## A.R.I.「芝草通信」No.2

(2008年7月22日)

アクション植物科学研究所 所長 宇城正和 (農学博士)

### サマーストレスを乗り越えるには？

梅雨も明け、本格的な夏の到来です。気象庁の7, 8, 9月の3ヶ月予報では、関東甲信越から以西（北陸、東海、近畿、中国、四国、九州地方）で平年より平均気温の高い日が50%、平年並みが30%、低い日が20%の確率となっています。つまり、100日のうち、50日は平年より平均気温が高いとの予報なのです。逆に、降水量は、北海道から九州まで、平年より少ない確率が40%、平年並みが30%、平年より多い確率が30%となっています。もちろん予報が外れることもあります。夏の猛暑にたいして万全の備えをしておくに越したことはありません。

サマーストレスを乗り越えるために、芝草の植物生理学の立場から対処の仕方を書かせていただきます。前回の創刊号では、主に根の生長のメカニズムと根上り現象に重点をおいて解説しましたが、サマーストレスによるサマーディクライニング (summer declining 夏季の落ち込み=夏バテ) 対策に関しても、結局は根の落ち込み、根上りをいかに食い止めるかに尽きると思います。芝の植物生理を十分に理解して頂ければ、適切な対処ができるはずで

### 1. サマーストレスの原因

夏場のストレスの原因には、以下のものがあります。

1. 高温
2. 強光
3. 乾燥
4. 高湿度
5. 酸素不足

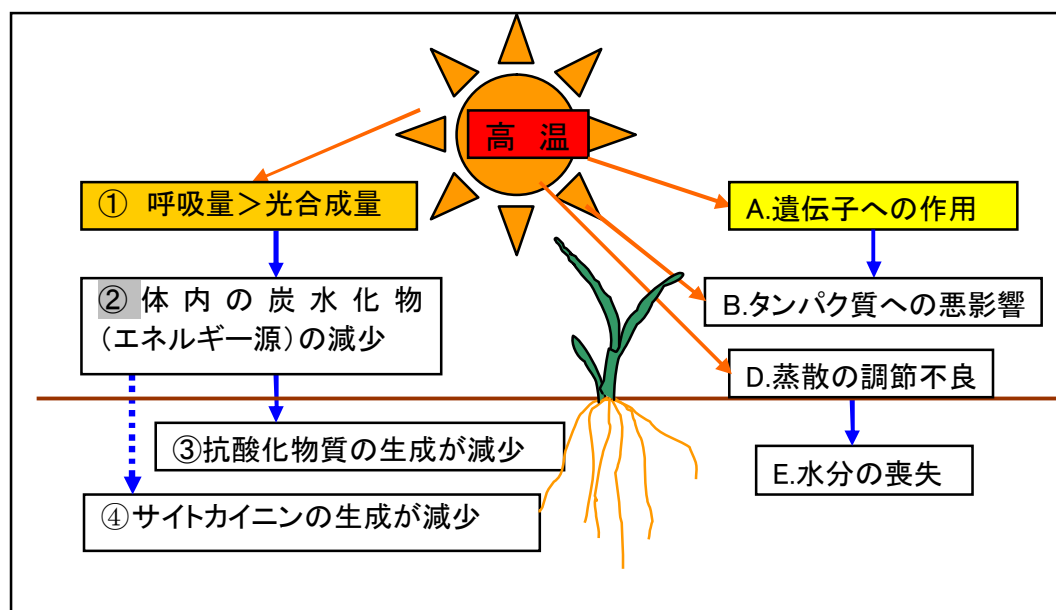
これらの中で、サマーディクライニングのもっとも大きな原因は、「高温」であるといわれています。しかしながら、これらの要因は複合的に作用し、芝に襲いかかります。年間を通じて、根が充実していれば、これらのマイナス要因が重なってもかなり持ちこたえることができるのですが、夏の猛暑に入るまでに、根の充実が不十分な場合には、夏の芝草管理は綱渡りをするような危険度の高いものになります。

#### 1.1 高温障害

ヒートストレスによって高温障害が起きやすいのは、C<sub>3</sub>型光合成を行う寒地型芝です。寒冷な気候でうまく生育できるように遺伝的に固定されているのですから、夏の猛暑に対しては、根の状態をよほど良くしておかないとサマーディクライニング (夏バテ) を起こしてしまいます。夏バテだけですめばよいのですが、病害、枯死など致命的な状態に至ることもあり、注意が必要です。もともと、寒冷な土地で良く生育する芝であることを忘れてはなりません。

ヒートストレスによる芝草の高温障害については、まだ、全貌が解明されているわけではありませんが、これまでの報告から明らかになっていることをもとに少しまとめてみました。

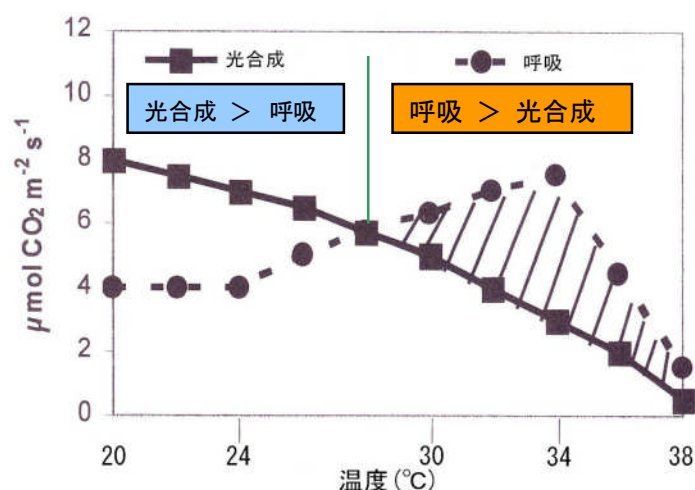
## ヒートストレスによる芝草内の変化



### ① エネルギー源が減少(呼吸量>光合成量)

寒地型芝はC<sub>3</sub>植物なので、高温・強光のもとでは、光合成量より呼吸量が増大することが重要です。

下のグラフをごらんください。この寒地型芝のクリーピングベントグラスでは、約 28℃より温度が上昇すると、呼吸速度が光合成速度を上回ってしまいます(呼吸量>光合成量)。即ち、これより温度が高くなると、収入が支出に追いつかず、貯金を崩して日々の生活にあてるような状態、つまり、根の中に蓄えていたエネルギーの貯金(炭水化物)を消費していくことになります。その結果根の生長が止まり、根細胞が死滅していきますので、日に日に根は細り、数も減り、深度も浅くなります。これが根上りです。



ペンクロス・クリーピングベントグラスの温度上昇における光合成速度と呼吸速度の変化

Fry, J. and B. Huang, Applied turf grass science and physiology, 2004 に加筆

こうして根の活力が低下すると、次に地上部の炭水化物が減少し、芽数の低下、葉色の黄化等が起こり、サマーディクラインングとなります。

もちろん、根上りの現象には、このあと述べる強光阻害や栄養素の不足等、他の要因も複雑にからんできます。

根上りは寒地型芝にとって自然の成り行きともいえる現象ですが、この状態を改善して、夏場でも活力のある芝を維持するには、根を充実させなければなりません。どうしても目に見える葉茎部が気になりますが、根本は根にあるわけですから、根を主とみるべきです。

呼吸が光合成を上回ってしまう時期（呼吸量>光合成量）でも、エネルギー源や重要物質の材料となる炭水化物やアミノ酸等を供給することによって、根上りを抑え、寒地型芝の生理障害を乗り越えることができるのです。

## ② 抗酸化物質の生成が減少

植物が高温にさらされると、活性酸素・ラディカル（ $\cdot O_2^-$ 、 $H_2O_2$ 、 $\cdot OH$ 、 $^1O_2$ 等）が発生します。これらは、タンパク質や細胞膜の脂質（不飽和脂肪酸）を酸化して変性するので、タンパク質、細胞膜が本来の機能を果たせなくなります。そうならないように、細胞が死滅するのを防いで身を守るべく、植物は抗酸化物質を生成する機能を持っていますが、 $C_3$ 植物の寒地型芝ではこの生成能力が $C_4$ 植物に比べて低いのです。酸化的ストレスが光合成の能力や呼吸を低下させ、芝全体の生長量が減少してしまいます。

## ③ サイトカイニンの生成が減少

サイトカイニンは芝草の根で生産される植物ホルモン的一种です。サイトカイニンは、細胞分裂を促進し、細胞の老化を防ぎ、気孔を開かせるなどの作用があります。サイトカイニンはオーキシシンと共同して働き、細胞を様々な器官の特定細胞に変化させます。寒冷地型芝がヒートストレスにさらされると、このサイトカイニンが葉、根において減少することが報告されています。

## ④ タンパク質への悪影響

### A. 正常タンパク質の減少やタンパク質の変性

夏の猛暑は遺伝子に悪影響を与え、タンパク質の正常な生成を妨げ、また、タンパク質の変性を引き起こします。正常なタンパク質の減少は、ヒートストレスの原因になります。酵素の本体はタンパク質できており、また、酵素以外のタンパク質も生体内で重要な機能を持っているため、タンパク質に問題が起きると、植物体の正常な働きが妨げられてしまいます。代謝活性が低下し、生長が著しく損なわれます。

### B. 酵素の活性低下

一方で、芝草の細胞内ではたらいっている酵素にはそれぞれ最適温度があり、 $C_3$ 植物の寒地型芝の場合は $30^{\circ}C$ 以下と考えられます。したがって、 $30^{\circ}C$ を越えると、一部の酵素の働きが低下して、芝草全体の活力、生長が阻害されます。

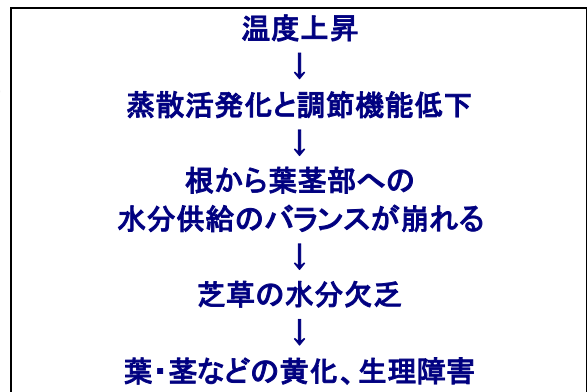
### C. 熱ショックタンパク質(HSPs)の生成が少ない

$C_3$ 植物の寒地型芝、特に耐暑性のない芝種では、HSPsの生成が少ないという報告があります。HSPsは熱ストレスから自分を守るためのタンパク質ですが、大腸菌から植物、動物まですべての地球上の生物が作り出すタンパク質です。この熱ショックタンパク質は他のポリペプチド（タンパク質）が熱障害でやられるのを保護してくれると言われてしています。

## 蒸散調節不良による弊害

### ⑤ 蒸散の調節機能低下

C<sub>3</sub>植物の寒地型芝では、高温になった場合、葉からの蒸散の調節が上手に行えなくなります。高温時での生育に慣れていないことが、葉の蒸散作用の面からも言えるわけです。



## 1.2 強光阻害

強すぎる光は害になります。太陽光の中には紫外線も含まれていて、地表に届く大半はUVBとよばれる電磁波315～280nmの波長域のものですが、この量が多くなると活性酸素・ラジカルを発生させる原因になります。光合成に利用される太陽光も、多過ぎると活性酸素を増加させます。高温障害の項でも述べたこの活性酸素・ラジカルが、芝草の細胞に害を与えます。

## 1.3 乾燥害

芝草の体内には75～85%の水が含まれています。乾燥が続いて、根からの水分吸収より葉からの蒸散が多くなり、体内水分量の約10%が失われると、芝草は枯死してしまいます。

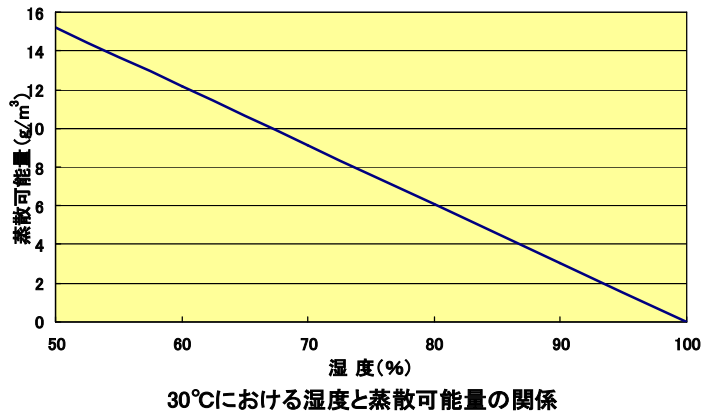
植物や動物を構成している細胞は水（体液）の中でしか生きることができません。なぜなら、地球上の全生命は水の中で酵素反応を行うことによってのみ、生命活動が可能だからです。反応を受ける物質（基質）と酵素は水に溶けた状態でのみ機能するのです。水が十分ないと、この反応が制限され、必要な物質を合成したり、分解したりできなくなります。水なしには生命が存在し得ないのです。

さらに、芝草を含めた植物は、根から水と養分を吸い上げるために、葉から水分を蒸散しなければなりません。一般の植物では根から吸い上げた水分のうち、葉から蒸散して失われる水分が98%以上で、植物体内で使われる量はわずか2%以下です。このように蒸散量は非常に多いのですが、これは根から水を吸い上げて、全身に水や養分を運び、葉でできた光合成産物を他の場所、根や茎、種子などに運ぶために蒸散が必要だからです。

葉からの蒸散は動物でいうところの心臓（ポンプ）のような役目をしていることになります。動物のように体液を循環させる心臓のない植物では、葉からの蒸散が植物体液を動かす原動力になっています。動物よりもさらに水を必要とするのです。蒸散中は気孔を開くので、光合成に必要なCO<sub>2</sub>の吸収とO<sub>2</sub>の排出も同時に行いますから、蒸散量は光合成量と直接的な比例関係にあります。

## 1.4 高湿度

蒸散の大切さは前項で述べましたが、大気の高湿度が高いと蒸散量が減ってしまいます。なぜなら、高湿度では空気中の水蒸気の割合が高くなるので、葉から水蒸気として蒸発できる量が物理的に制限されてしまうからです。次のグラフをごらんください。



理論的なお話になりますが、例えば、湿度 80%では空気中へ約 6 g/m<sup>3</sup>の水蒸気が蒸散可能であることを示しています。90%では、約 3 g/m<sup>3</sup>。湿度 100%では空気中の水蒸気が飽和しているため、蒸散可能量が 0 になります。

湿度が高くなり、葉からの蒸散が減るということは、植物の体液を動かすポンプの働きが弱くなるのと同じです。動物の心臓が弱って老化してくるようなものです。同様に、芝草の活力が低下するのは目に見えています。

一方蒸散には、水・養分・植物ホルモン等を各組織へ運ぶということ以外に、植物体の体温を下げるという重要な働きがあります。ですから、高温多湿の日本の夏は蒸散が不十分で、芝草にとっても非常に過酷な環境になるわけです。

## 1.5 酸素不足

乾燥や高温続きから芝を守るために散水するわけですが、水をやりすぎてしまうと、土壌の中の三相分布が崩れてしまいます。芝草土壌の理想的な三相分布は、体積比で固相 50%、液相 25%、気相 25%とされています。固相は変わらず一定なので、水のやりすぎで液相が増えると、当然、その分、気相の割合が減少します。その結果、ターフの根や好気性の土壌微生物への酸素供給が不足します。もちろん水の中にも酸素は溶け込めますが、30°Cでは最大でも水 1 l中、9 ml ほどしか溶け込めません。それに対し空気 1 l中の酸素量は 209 ml ですから、気相が減るとその分酸素供給量が減ってしまうのです。

また、排水不良のグリーンでは、特に気相が減少して土壌内が酸素不足に陥り、根組織の細胞が呼吸できなくなって死滅してしまいます。根上りの原因になるわけです。このような排水不良もサマーストレスを引き起こす間接的な原因といえるでしょう。

## 2. サマーストレスへの対策

以上述べた様々なサマーストレスの原因を考えて、その対策を列举すると、以下のようになります。

### 根上がりを防ぐためには

- I. 栄養素の供給: 根に蓄えられている栄養素を使い果たさないために
  - バランス良いアミノ酸・炭水化物(糖質)の供給
  - 栄養素、特にカルシウム・カリウムの施肥
  - 微量元素の施肥

## II. 機能性物質の供給: 活性酸素・ラディカルから守るために

- 抗酸化物質の供給
- バイオスティミュラント(天然サイトカイニン、オーキシンを含む海藻)の供給

## III. 酸素の確保

- 酸素供給資材の活用
- 土壌の通気性・浸透性の改善
- 適切な散水量

### 豆知識

#### 栄養素の不足

サマーストレスを助長するものとして、栄養不足を取り上げねばなりません。

##### ① カルシウム不足

カルシウムは生命の炎とよばれるほど重要なミネラルです。グリーンの土壌分析では、カルシウム不足が非常に多く見られます。カルシウムは 1. 細胞壁を丈夫にし、2. 耐病性を増し、3. ストレス耐性を高め、4. 根を伸長させます。また、カルシウムと拮抗関係にあるマグネシウムとのバランスに注意することも、カルシウムを十分に吸収させる上で重要です(カル: マグ比)。

##### ② カリウム不足

植物の細胞内で最も多い陽イオンはカリウムです。クリーピングベントグラスにヒートストレスをかけた実験では、窒素、リン酸、カリウムのうち、最も根からの吸収が減少するのはカリウムでした。カリウムは、1. 高温に対する耐性を高め、2. 酵素を活性化させ、3. タンパク質の合成を促進し、4. 光合成を活発にし、5. 篩管での物質の流れを良くします。カリウムの欠乏は避けなければなりません。

## 3. 参考文献

柳久 (編集) . ニューベントグラス、ソフトサイエンス社、2002

最新農業技術事典、農文協、2006

眞木芳助. 芝草管理用語辞典、一季出版、2001

Fry, J. and B. Huang. Applied Turfgrass Science and Physiology. John Wiley & Sons.2004

Morison, J.I.L. Plant Water Use, Stomatal Control. Encyclopedia of Water Science. 2003