

千葉県農林総合研究センター 第8号

CAFRC Spec. Res. Bull.

No. 8 (2018)

ISSN 1347-2593

千葉県農林総合研究センター 特別報告

第8号

(CAFRC Spec. Res. Bull. No.8 2018)

千葉県農林総合研究センター

SPECIAL RESEARCH BULLETIN
OF
THE CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE AND FORESTRY RESEARCH CENTER
No. 8 March 2018

千葉県農林総合研究センター 特別報告

第 8 号

平成 30 年 3 月



千葉県農林総合研究センター

CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE AND FORESTRY RESEARCH CENTER

序 文

環境保全型農業の進展に伴い総合防除（IPM）の概念が一般化し、化学農薬の使用のみに頼らず、生物農薬や耕種的方法を導入して、有害生物の被害を許容レベルに抑え、維持管理を行う技術に関心が高まってきた。特に、病害対策の耕種的方法としては、耐病性品種の開発と導入には大きな期待が寄せられている。また、果樹の生産量は、高齢化による担い手の減少や生産圃場の老木化等によって減少傾向にある。農業後継者への速やかな経営移譲を進める上でも、若木への改植により生産圃場の整備・再編成は必須であり、具体的な対応が求められている。本報告は、このような農業を取り巻く環境や状況の変化によって生じた新たな問題解決に取り組んだ二つの研究成果について取りまとめたものである。

『耐病性クリーピングベントグラス品種「シーワイツー」の育成と夏季の生育衰退に関連した諸特性に関する研究』では、耐病性クリーピングベントグラス品種「シーワイツー」の育成過程と諸特性、特にダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性およびアントシアニンの発現性、さらに夏季の生育衰退に関連した諸形質を明らかにした。また、『ニホンナシの改植および定植後の管理方法の改善に関する研究』では、改植時に発生するいや地現象に関する知見を明らかにするとともに、その軽減対策や定植後の生育促進技術を確立することで、全国一の産地を支えるための技術を体系化した。

これらの研究成果が関係各位の参考となり、千葉県、そして全国の生産現場における農業問題解決につながることを願うものである。

2018 年 3 月

千葉県農林総合研究センター
センター長 斎藤 研二

千葉県農林総合研究センター特別報告 第8号

目 次

耐病性クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の育成と夏季の生育衰退に関連した
諸特性に関する研究

加藤 正広 1

ニホンナシの改植および定植後の管理方法の改善に関する研究
～いや地現象の発生とその軽減および生育促進を中心に～

戸谷 智明 57

**SPECIAL RESEARCH BULLETIN OF THE CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE AND
FORESTRY RESEARCH CENTER**

No. 8 March 2018

CONTENTS

Breeding of a creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) cultivar ‘CY-2’ and characteristics
of summer bentgrass decline of ‘CY-2’ turf

Masahiro KATO 1

The Mitigation of Replant Failure and Improvement Method on the Growth of Young
Japanese Pear Tree ~ Generation of Soil Sickness Syndrome and Mitigation of Replant
Failure Growth, Promotion Effect ~

Tomoaki TOYA 57

耐病性クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の 育成と夏季の生育衰退に関連した諸特性に関する研究

加藤 正広

目 次

第Ⅰ章 緒言	1
第Ⅱ章 クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の育成	
第1節 はじめに	3
第2節 材料及び方法	3
実験1. 品種「シーワイター」の親栄養系の選抜と選抜された親栄養系の特性	3
実験2. 親栄養系の組み合わせによって得られた合成系統の諸形質	4
実験3. 品種「シーワイター」の育成と諸形質	4
実験4. ゴルフ場のパッティンググリーンにおける「シーワイター」の諸形質	5
第3節 結果	5
実験1. 品種「シーワイター」の親栄養系の選抜と選抜された親栄養系の特性	5
実験2. 親栄養系の組み合わせによって得られた合成系統の諸形質	8
実験3. 品種「シーワイター」の育成と諸形質	10
実験4. ゴルフ場のパッティンググリーンにおける「シーワイター」の諸形質	10
第4節 考察	12
第5節 摘要	14
第Ⅲ章 夏季における「シーワイター」の生育特性と無機成分含量	
第1節 はじめに	15
第2節 材料及び方法	15
第3節 結果	16
第4節 考察	19
第5節 摘要	20
第Ⅳ章 クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の晩秋季における 芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度と EC 値及び pH との関係	
第1節 はじめに	21
第2節 材料及び方法	21
第3節 結果	22
第4節 考察	24
第5節 摘要	25
第Ⅴ章 病害と殺菌剤処理の有無がクリーピングベントグラス品種「シーワイター」の 芝生表面に結露した水滴の無機成分に与える影響について	
第1節 はじめに	26
第2節 材料及び方法	26
第3節 結果	27
第4節 考察	31
第5節 摘要	33
第Ⅵ章 クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の夏季の芝生品質と 芝生表面に結露した水滴の EC 値及び葉身からの電解質の溶出との関係	
第1節 はじめに	34
第2節 材料及び方法	34
実験1. クリーピングベントグラス2品種の夏季の芝生品質と芝生表面に結露した水滴の EC 値 及び葉身の EL 値の推移	34
実験2. クリーピングベントグラス2品種の異なる刈り高で採取した葉身からの無機成分の溶出	35

第3節 結果	36
実験 1. クリーピングベントグラス 2 品種の夏季の芝生品質と芝生表面に結露した水滴の EC 値 及び葉身の EL 値の推移	36
実験 2. クリーピングベントグラス 2 品種の異なる刈り高で採取した葉身からの無機成分の溶出 と葉身の MDA 含量	37
第4節 考察	40
第5節 摘要	45
第Ⅶ章 総合考察	46
総合摘要.....	49
謝辞	50
引用文献	51
Summary	54

第 I 章 緒 言

クリーピングベントグラス (*Agrostis palustris* Huds.) は、寒地型イネ科芝草で世界中の多くのゴルフ場においてパッティンググリーンに使用されている。本芝草の特徴は、匍匐茎を伸ばして伸長し、葉は非常に繊細で低刈りにも耐え、きめ細かいグリーンを作る反面、ダラースポット病 (*Sclerotinia homoeocarpa* F. T. Bennett) (谷ら, 1995; 反保ら, 1989) や葉腐病 (*Rhizoctonia solani* AG2-2III B, 以下ブラウンパッチとする) (小林ら, 2001) などに罹病性が高いことが知られている。

近年、地球温暖化に伴いアメリカ合衆国や日本ではクリーピングベントグラスの夏季の生育衰退による甚大な被害が報告されている (Huang, 2001; Carrow, 1996; 千葉県ゴルフ場等無農薬化推進連絡協議会, 2000)。夏季の生育衰退の最大の要因は高温であり、これに土壤環境の悪化による通気不良や病害などの要因が重なって生育衰退が助長すると考えられてい (Huang, 2001)。さらに、低刈りによるグリーンスピードの追求やニーズの高まりによる植栽地域の拡大 (眞木, 1991a; 柳, 2002) など人為的要因も考えられている (Liu, 2003)。

クリーピングベントグラスグリーンでは、夏季の生育衰退を助長する病害などの有害生物に対しては化学農薬による防除が、卓効性、速効性から多くの現場で行われ、単位面積当たりの殺菌剤の使用量もゴルフコースの中ではグリーンが最も多い。しかし、近年、農薬の安全性が強調され、総合防除 (IPM) の概念が一般化するにつれ、化学農薬の使用のみに頼らず、生物農薬や耕種的方法を導入して、有害生物の被害を許容レベルに抑え、維持管理を行う技術に関心が高まってきた。病害対策の耕種的方法としては、耐病性品種の導入が有効な手段とされている。本方法は、化学合成された殺菌剤とは異なり土壌や芝草への影響が少なく、環境汚染の心配が無く、遺伝的形質を導入した品種は防除効果が安定しているということを基本概念としている。しかし、耐病性は、環境条件に影響を受けやすいことも知られており、生育環境に適した耐病性品種の導入と維持管理が必要とされる。

クリーピングベントグラスの育種は、栄養繁殖性では1928年「アーリントン」が育成され、その後「オールドオーチャード」など栄養繁殖性の数多くの品種が育成された (Beard, 1973c)。しかし、これらの栄養繁殖性品種は、均一なため高品質な芝生を形成するが耐病性が低い、種子繁殖ではないため大量の需要に対応できないなど広範囲の普及には至らなかった。種子繁殖性では1923年に「シーサイド」が育成されたが播種後の分離による斑模様の発生に伴う芝生品質の低下、ブラウンパッチに対する耐病性、

耐暑性が弱い等の欠点が指摘された (Beard, 1973c; 眞木, 1991b; 柳, 2002)。その後1954年に「ペンクロス」が育成された。「ペンクロス」は、遺伝的に優れた純系の3系統を圃場で自由交雑させて得られた一代雑種の種子繁殖性品種である。成長が旺盛で、環境耐性も高く過度の踏圧による茎密度の低下や病害虫によるダメージからの回復に優れていたため全世界へ普及し、育成以来約50年間ゴルフ場のグリーンに導入・栽培されている (Beard, 1973c; 眞木, 1991ab; 柳, 2002)。我が国において「ペンクロス」は、1960年代以降当時クリーピングベントグラス品種の中では環境耐性が最も高いことから広く導入され (柳, 2002)、近年まで全国で66.8% (ゴルフ場セミナー編集部, 2011)、千葉県では75.0% (千葉県コース管理社会, 2015) のゴルフ場で使用されている。

千葉県は、1990年当時ゴルフ場における農薬の使用による環境への影響を懸念し、当時の沼田知事が1990年以降開場されるゴルフ場に対して化学的合成農薬の使用を行わないことをゴルフ場に義務づけた。それに伴い千葉県農業試験場 (現千葉県農林総合研究センター) では、環境に優しい芝草管理技術の開発を開始した。当時の千葉県内の新設コースのグリーンでは、ヒメコウライシバとクリーピングベントグラスの2グリーンが造成されていたが、クリーピングベントグラスグリーンでは品種「ペンクロス」が植栽されているグリーンが90%以上を占めていた。しかし本品種は、千葉県では夏季の病害や高温による生育衰退が激しく、枯死したグリーンの一部は張り替えや追い播きをする等ゴルフ場の芝生管理者を悩ませていた。また、播種2年目以降で冬季にアントシアニンが発現し品質を低下させていた。

千葉県農林総合研究センターでは既存品種に代わる耐病性品種の育成を開始した。1990年当時千葉県内のゴルフ場のクリーピングベントグラスグリーンの主要な病害は、ブラウンパッチであり、本病害抵抗性品種として1997年栄養繁殖性品種「チバグリーンB-1、B-2」(登録番号5438, 5439) を育成した。本品種は、ブラウンパッチ耐病性と耐暑性を併せ持つ品種であった。しかし、本品種は、ダラースポット病に対して耐病性が不十分であった。また、冬季にアントシアニンが発現しグリーンの品質を低下させること、栄養繁殖性であるためグリーンの造成、補修は張り替えのみで播種による造成や追い播きによる補修ができないこと、などの理由からゴルフ場の芝生管理者から種子繁殖性で、ダラースポット病、ブラウンパッチに耐性を持ち冬季にアントシアニンの発現の少ない品種の育成が求められた。

千葉県農林総合研究センターでは、1995年から雪印種苗(株)と共同でダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性、耐暑性及び冬季のアントシアニン低発現性の特性を合わせ持つ種子繁殖性クリーピングベントグラスの育成を開始した。その結果、2007年8月7日に品種「シーワイター」(登録番号15550)を育成した。本品種は、2004～2007年の全米芝草評価プログラ(National turfgrass evaluation program 以下NTEPとする。)において、上記諸形質の高い再現性が確認され、総合評価で高得点を得た(NTEP, 2008)。また、2009年には千葉県のゴルフ場を含め全国約80コースで採用、導入されるに至った。

近年、クリーピングベントグラスグリーンはの夏季高温時の維持管理技術として施肥管理が注目され、体内無機成分含量の消長に合わせた施肥管理技術が提案されている(日本芝草学会, 2015)。また、水稻(*Oryza. sativa* L.)などでは、品質と食味を両立させる施肥管理技術が品種別に提案されている(福岡県, 2011)。しかし、クリーピングベントグラスでは品種特性を考慮した施肥管理技術の提案は行われていない。新品種の開発と導入が積極的に行われる中で、ゴルフ場の芝生管理者からは、年間を通じて品種の特性を最大限に発揮させるための施肥管理技術の構築が求められている。これまで育成されてきたクリーピングベントグラスは、遺伝的に変異が多様であることから、体内無機成分含量や吸収量について品種間に差があることが推察される。体内無機成分含量及び吸収量の品種間差についてはトウモロコシ(*Zea mays* L.)、ソルガム(*Sorghum bicolor* Moench)、イタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.)等で報告されているが(原田ら, 2001; 川地ら, 2006; 水流ら2012)、クリーピングベントグラスに関する報告はない。耐暑性と耐病性を併せ持つ育成品種「シーワイター」の夏季における無機成分の吸収特性動態

を明らかにすることは、今後の減農薬、無農薬管理技術の確立と栽培条件下での健全な芝生品質を維持できる新品種を育成する際に役立つものと考えられる。

一方、年間を通じて生育するクリーピングベントグラスの葉身は高温や低温、乾燥などの環境条件にさらされることによって老化の進行が早まっていることが考えられる。春から晩秋季にかけて、クリーピングベントグラスの芝生表面には、結露した水滴が付着する。雨、露、霧などによって植物の葉や茎などから無機成分などの物質が溶出する現象はリーチングと呼ばれ(Tukey1970)、高温、低温、干ばつ、微生物、害虫及び機械的、生理的原因により損傷を受けた葉は、健全葉よりも雨、露、霧への物質の溶出量が増大する(木村, 1997a; Tukeyら, 1963; Tukey, 1966)。従って、リーチングの診断により生育状態を判断できると考えられる。物質の溶出程度には、植物の種類、品種による違いや葉内の栄養状態により違いがあるとされる(木村, 1997a; Tukeyら, 1958; Tukeyら, 1964)。葉から溶出する電解液の電気伝導度(Electric conductivity (EC))や無機成分を調べることは、芝の栄養状態や生理状態を知る判断手段になると思われる。クリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴のEC値や無機成分特性を明らかにすることは、特に減農薬、無農薬管理条件下で芝生品質を健全に維持する際に役立つとともに品種の特性を評価する一助になるものとする。そこで、本研究では、クリーピングベントグラスグリーンについて初めてリーチングの実態について明らかにした。

以上、本研究論文は、クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の育成過程と諸特性、特にダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性及びアントシアニンの発現性、さらに夏季の生育衰退に関連した諸形質の解析結果について取りまとめたものである。

第Ⅱ章 クリーピングベントグラス品種 「シーワイツ」の育成

第1節 はじめに

千葉県農林総合研究センターでは、1997年にクリーピングベントグラスのブラウンパッチ耐病性品種「チバグリーン B-1」（登録番号 5438）と「チバグリーン B-2」（登録番号 5439）を育成した。しかしながら、これらの芝草ではダラースポット病が春から晩秋まで発生し、その特徴として罹病部が円形のパッチ状に沈み込むことから、グリーンの品質を著しく低下させていた。ゴルフ場の芝生管理者は、その防除対策としてパッチ部分を除去するなどの耕種的方法、尿素液の処理（梅本ら、1995）や殺菌剤を用いていたが、その防除には多大な労力と農薬の使用などそれに伴う費用が必要であり、未だその最適な防除策は確立されていなかった。そのため、芝草管理技術者等からダラースポット病耐病性品種の育成が強く求められるようになった。

また、クリーピングベントグラスグリーンでは秋から気温が低下するとアントシアニンの発現によって葉が紫色に変色して斑状になるため、景観を著しく損ない、春に再び気温が上昇し成長を始めると紫色は消滅する症状がみられる（武内ら、2008）。

そこで、千葉県農林総合研究センターは、1995年からダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性、耐暑性及び冬季のアントシアニン低発現性の特性を持つ種子繁殖性クリーピングベントグラス品種の育成を開始し、2007年8月7日に品種「シーワイツ」（登録番号 15550）を育成した。

本章では、クリーピングベントグラス品種「シーワイツ」の親栄養系の選抜方法及びその育成過程を明らかにし、さらにダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性及びアントシアニンの発現性など諸形質に関してとりまとめた。

第2節 材料及び方法

実験1. 品種「シーワイツ」の親栄養系の選抜と選抜された親栄養系の特性

1) 親栄養系の一次選抜

品種比較試験として、1990年9月13日に、クリーピングベントグラスの市販品種である「ペンクロス」、「ペンリンクス」、「ペンイーグル」、「サウスショア」、「プロビデンス」、「SR1020」、「エメラルド」、「シーサイド」、「コブラ」、「ナショナル」、「パター」、コロニアルベントグラスの「ハ

일랜드」、「アストリア」の合計13品種とレッドトップの普通種を用い、USGA工法に準じて造成されたサンドグリーンに品種比較圃場を設定した。1試験区画は3.0m×2.0mで、各品種の種子を1㎡当たり5～10g播種した。なお、試験区構成は2反復とした。芝生成後、施肥は化成肥料（N：P₂O₅：K₂O＝15：8：17）を窒素成分で1か月当たり0.5～2g/㎡行い、1年間に合計16～20g/㎡を施用した。刈込みは、刈高5mmで週5回行った。本試験区へは、殺菌剤や殺虫剤などを使用せずに管理を行った。1994年8月は猛暑及びブラウンパッチ、シバツトガの大発生により各試験区の90%以上の茎葉部で黄化・枯死が観察されたが、その後も同様の管理を行った。1995年2月1日及び3月10日、一次選抜として残存した個体由来と考えられるコロニーの中で特にアントシアニン発現程度の低いコロニーから1個体ずつ合計146個体を採取し、温室内で芝生状に増殖させた。

2) 選抜された親栄養系及び栄養系「9202」の栽培とダラースポット病及びブラウンパッチの耐病性調査

1995年11月10日、増殖させた146栄養系はUSGA工法に準じて造成されたサンドグリーンに芝生として30cm×30cmの区画内に反復無しで定植した。対照標準品種として圃場内で生育させた「ペンクロス」の芝生を同面積の区画内に反復無しで定植した（Photo. 1）。また、別試験で分離・保存してあった冬季の葉の緑色保持性が高く、ダラースポット病とブラウンパッチに耐病性の高い栄養系「9202」についても圃場での特性を比較するため、1995年3月29日に上記試験区の隣接した品種比較試験圃場に2.0m×2.5mの芝生区画を2反復で定植した。この品種比較試験圃場は、「ペンクロス」他14品種を植栽した圃場で、1990年9月14日に2.0m×2.5mの区画内に2反復で種子を播種し芝生成後、施肥は前記と同様に行い、刈込みは、刈高5mmで週3回行った。

ダラースポット病の発病調査は、1996年6月6日に千葉県農林総合研究センターの圃場から分離・保存してあるダラースポット病菌を接種し（梅本 1997）、1996年6月19日～同年11月18日まで7回、目視で発病指数0（発病無し）～4（甚大）の5段階で行った。一方、ブラウンパッチの発病調査は、1996年8月5日に自然発病したものを目視で発病指数0（発病無し）～4（甚大）の5段階で行った。

3) 親栄養系における二次選抜と冬季のアントシアニンの発現調査

1996年11月18日、一次選抜した146栄養系は上記のダラースポット病耐病性及びブラウンパッチ耐病性に加

えて、茎密度、芝生面の均一性などについて、品質評価を行った。評価方法は指数1（極不良）～9（極良）の9段階とした。ゴルフ場でプレーに支障の無い品質を、指数6以上とし、6以上の31栄養系を選抜した。これらの栄養系に対し冬季のアントシアニンの発現程度を調査した。調査は、1997年1月20日に目視で観察し、その発現程度を指数1（発現無し）～9（葉身全体に発現）の9段階とした。また、「9202」及び「9202」を植栽した品種比較試験圃場内の「ペンクロス」の冬季アントシアニンの発現調査を1997年2月17日に行った。

4) 親栄養系における三次選抜

二次選抜した31栄養系について、冬季アントシアニンの発現、耐病性、均一性など特性調査の結果をもとに、1997年11月27日に総合品質評価を前記実験1-3)の品質評価の方法に従って行い、指数8以上の9栄養系を三次選抜した。

実験2. 親栄養系の組み合わせによって得られた合成系統の諸形質

三次選抜した9栄養系と以前から分離・保存してあった1栄養系「9202」を加えた合計10栄養系を親栄養系とし、5～6の親栄養系から構成される合成系統「CY-I」、「CY-II」及び「CY-III」の3系統を育成した（Table 5）。各合成系統の親栄養系の組み合わせは、冬季のアントシアニン発現性の低い栄養系主体の組み合わせを「CY-I」、ダラースポット病耐病性またはブラウンパッチ耐病性の高い栄養系主体の組み合わせを「CY-II」、冬季のアントシアニン発現性の低い栄養系及びダラースポット病耐病性またはブラウンパッチ耐病性の高い栄養系の組み合わせを「CY-III」とした（Table 4, Table 5）。1998年6月22日に雪印種苗（株）北海道研究農場（以下雪印北研農場とする）内で各グループ別に隔離圃場を設置し、構成親栄養系株を1.5m間隔でランダムに定植した。試験区構成は、4反復とし、供試した全株数は「CY-I」、「CY-III」は20株、「CY-II」は24株とした。草勢の調査は、1999年6月25日と同年8月6日に観察により、指数1（極不良）～9（極良）の9段階で行った。出穂開始日の調査を、1999年6月に行った後、1株当たりの穂数の調査を同年7月25日と同年8月6日に観察により、指数1（極少）～9（極多）の9段階で行った。採種量は、同年8月9日に調査した。芝生条件での諸形質を調査するため、供試材料として隔離採種した各合成系統の各親栄養系から採種した種子を等量混合した。対照品種として既存品種「ペンクロス」、「ペンA-1」、「ペンA-4」、「L-93」及び「パター」の5品種を用いた。1999年10月7日に千葉県農林総合研究センターの圃場に、1試験区画を75cm×75cmとし、それぞれ10g/m²播種した。試験区構成は、3反復とした。芝

生形成後の施肥及び刈込みは、前記実験-1)に準じて行った。害虫の発生を防ぐため、試験区全面にフェニトロチオン乳剤1000倍液を適宜散布した。ダラースポット病の発病調査は、2001年7月4日と同年9月3日に自然発生したものについて、前記実験1-2)の方法に従って行った。ブラウンパッチの発病調査は、2000年7月6日と同年8月24日に自然発生したものについて前記実験1-2)の方法に従って行った。冬季のアントシアニン発現程度の調査は、2001年1月24日に前記実験-3)の方法に従って行った。耐暑性の調査は、2001年9月9日に目視で、指数1（極不良）～9（極良）の9段階で行った。茎数の調査は、2001年8月20日に直径3.3cmのホールカッターで芝生を採取し、茎数を数えた。

実験3. 品種「シーワイター」の育成と諸形質

育成品種「シーワイター」の育種家種子を雪印北研農場内で採種した。採種に用いた個体は、「CY-II」の親栄養系である「217」、「218」、「241」、「354」、「359」及び「362」の合成第1代に「CY-III」の親栄養系「339」の合成第1代を加えた合計7親栄養系の合成第1代を用いた。2000年6月23日に、これら合成第1代の各568個体を系統別に1区23～24個体を80cm間隔で定植した。試験区構成は、24反復とし、合計3976個体を圃場に定植した。定植後、2000年10月24日に選抜淘汰の基準として、ほふく茎の伸長が悪く株張りの小さいもの、冠さび病（*Puccinia coronata* Corda）が発生しているもの、アントシアニンが発現しているもの合計132個体を淘汰した。採種は、2001年8月4日に行い全個体の種子を混合採種して「シーワイター」とした。

「シーワイター」の諸形質は、既存品種「L-93」、「ペンA-1」及び「ペンクロス」を対照品種として調査した。2001年10月12日に千葉県農林総合研究センター内のUSGA工法に準じて造成されたサンドグリーンに、1試験区画を2m×2mとし、3反復で10g/m²を播種した。芝生形成後、2003年までの1年間の施肥及び刈込みは実験1-1)に準じて行った。2003年以降、健全な芝の特性も合わせて調べるために、各試験区画内の任意の部分に、殺菌剤処理区（1m×1m）と殺菌剤無処理区（1m×2m）を設定した。その他の部分は区外として管理した。殺菌剤処理区では、アゾキシストロビン水和剤800倍液、イプロジオン水和剤1000倍液、キャプタン水和剤500倍液、プロピコナゾール・メプロニル水和剤500倍液、フルトラニル・プロピコナゾール水和剤500倍液のいずれかを5～10月に月1～2回の頻度で散布した。本試験の諸特性の調査は、殺菌剤無処理区内で行った。また、試験期間中の虫害の発生を防ぐため、試験区画全面にフェニトロチオン乳剤1000倍液を適宜散布した。

ダラースポット病及びブラウンパッチの発病調査は、自然発生したものを対象に 2003 年 6 月 23 日、同年 7 月 31 日、同年 9 月 1 日に前記実験 1-2) の方法に従って行った。冬季の葉のアントシアニン発現程度の調査は、2004 年 1 月 28 日及び同年 2 月 21 日に前記実験 1-3) の方法に従って行った。耐暑性の調査は、2003 年 9 月 1 日に目視で、前記実験 2 の方法に従って行った。茎数の調査は、2003 年 7 月 30 日に前記実験 2 の方法に従って行った。

実験 4. ゴルフ場のパッティンググリーンにおける「シーワイター」の諸形質

泉カントリークラブ（千葉県印旛村）の USGA 工法に準じて造成されたサンドグリーンに 2003 年 4 月 7 日、「ペン A-2」、2003 年 4 月 11 日に「シーワイター」を 1m × 4m の区画を 1 連制で設け、10g/m²を播種した。5 か月間養成した後、2003 年 9 月以降刈り高 4mm で管理を行った。施肥は、調査期間の 2003 年 4 月～2008 年 2 月まで化成肥料（N : P₂O₅ : K₂O = 9 : 18 : 17, 5 : 1 : 1）を主体に行い、1 年間に合計 13～20g/m²を施用した。試験期間中、病虫害の発生を防ぐため適用のある殺菌剤及び殺虫剤を適用濃度で適宜散布した。2004 年 5 月 19 日、8 月 5 日、10 月 15 日に直径 3.3 cm のホールカッターで各処理区より地下 5cm までの芝生を採取し茎数を調査した後、地下部を 0～2cm 層、2～5cm 層に切り分け、それぞれの地下部重を調査した。2005 年 1 月 11 日、2006 年 2 月 4

日、2007 年 1 月 31 日、2008 年 2 月 14 日に冬季のアントシアニンの発生程度を目視によって指数 1（発現無し）～9（葉身全体に発現）で評価した。2004 年 5 月 19 日、8 月 15 日にボールの転がり程度をステンブメーターを用いて測定した。また、2004 年 8 月 5 日、2005 年 9 月 16 日、2006 年 8 月 25 日、2007 年 7 月 25 日に品質を芝生面の葉色、茎密度、均一性、罹病性、環境ストレス耐性などを総合的に評価し、（1：最悪～9：理想）の 9 段階で評価した。ゴルフ場でプレーに支障の無い品質を、指数 6 以上とした。

第 3 節 結 果

実験 1. 品種「シーワイター」の親栄養系の選抜と選抜された親栄養系の特性

1) 一次選抜栄養系の諸形質と二次選抜

1996 年に一次選抜された 146 栄養系のダラースポット病及びブラウンパッチの発病指数の分布を Table 1 に示した。

ダラースポット病の発病指数別個体数は、指数 0 が 0 個体、指数 1 が 7 個体、指数 2 が 69 個体、指数 3 が 55 個体、指数 4 が 15 個体であった。発病程度が低い指数 2 以下の個体数は全体の 52.1%であった。一方、ブラウンパッチの発病指数別個体数は、指数 0 が 1 個体、指数 1 が 31

Table 1 Degree of disease resistance of selected clones from each tested cultivar.

Cultivar	Number of selected clones	Disease occurrence ^{a)}											
		Dollar spot disease ^{b)}						Brown patch ^{b)}					
		0	1	2	3	4	- ^{c)}	0	1	2	3	4	- ^{c)}
Pennncross	11	0	1	5	4	1	0	0	1	6	1	1	2
Pennlinks	12	0	0	8	2	2	0	0	3	5	1	0	3
Penneagle	11	0	0	0	3	8	0	0	3	5	2	1	0
Southshore	12	0	1	11	0	0	0	0	4	5	2	0	1
Providence	12	0	1	9	2	0	0	0	4	5	2	0	1
SR1020	13	0	1	9	3	0	0	0	1	6	4	2	0
Emerald	8	0	0	0	8	0	0	0	0	3	3	0	2
Seaside	11	0	0	3	7	1	0	0	1	7	2	0	1
Cobra	6	0	0	2	4	0	0	0	2	0	4	0	0
National	10	0	0	6	4	0	0	0	2	5	0	0	3
Putter	10	0	3	4	3	0	0	0	3	5	2	0	0
Highland	12	0	0	7	5	0	0	1	4	2	5	0	0
Astoria	4	0	0	2	2	0	0	0	0	2	2	0	0
Redtop-common	14	0	0	3	8	3	0	0	3	5	3	1	2
total	146	0	7	69	55	15	0	1	31	61	33	5	15
(%)	100	0.0	4.8	47.3	37.7	10.3	0.0	0.7	21.2	41.8	22.6	3.4	10.3
Pennncross		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0

a) The disease index of dollar spot disease and brown patch is 0 (no disease) to 4 (severe).

b) The dollar spot disease analysis was performed from Jun. 19 to Nov. 18, 1996.

The brown patch analysis was performed on Aug. 5, 1996.

c) Not investigated.

個体, 指数 2 が 61 個体, 指数 3 が 33 個体, 指数 4 が 5 個体であった。発病程度が低い指数 2 以下の個体数は 93 個体で全体の 63.7%であった。

1996 年 11 月 18 日, ダラースポット病耐病性及びブラウンパッチ耐病性に加えて, 芝生面の茎密度, 均一性などについて, 品質評価を行い, 評価点 6 以上の 31 栄養系を二次選抜した (Fig. 1, Photo. 1)。

2) 二次選抜栄養系の諸形質と三次選抜

二次選抜された 31 栄養系の冬季アントシアニンの発現指数を Table 2 に示した。

アントシアニン発現指数は, 発現程度が低いと判断された指数 2 以下の個体数は 8 個体で全体の 25.8%であった (Photo. 1)。

二次選抜された 31 栄養系の総合品質評価値の分布を Table 3 に示した。

総合品質の評価で特に品質が高いと判断された指数 8 以上の個体数は, 9 個体で全体の 29.1%であった。これら評価点 8 以上の 9 栄養系を三次選抜した (Fig. 1, Photo. 1)。

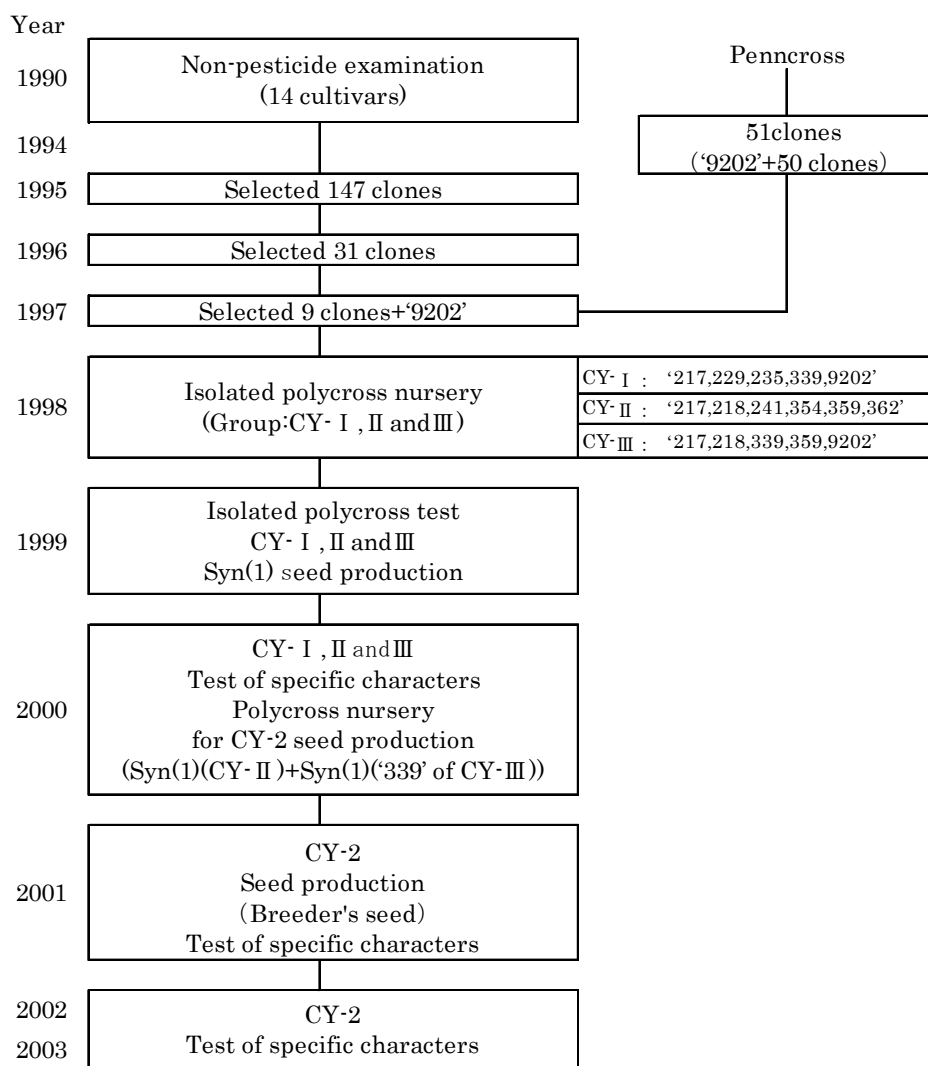


Fig. 1 Breeding process of cultivar CY-2

a) The contents of the above cells show selected clones.



Photo. 1 Turf color of each bentgrass clone in winter in 1997.

Table 2 Degree of anthocyanin production in secondary selected clones.

Cultivar	No. of selected clones	Anthocyanin production ^{a)}						
		2	3	4	5	6	7	8
Penncross	2	0	1	0	0	1	0	0
Pennlinks	4	0	0	0	0	1	3	0
Penneagle	0	0	0	0	0	0	0	0
Southshore	3	1	2	0	0	0	0	0
Providence	2	0	1	0	0	0	1	0
SR1020	7	7	0	0	0	0	0	0
Emerald	0	0	0	0	0	0	0	0
Seaside	2	0	1	1	0	0	0	0
Cobra	1	0	0	0	0	1	0	0
National	1	0	0	0	1	0	0	0
Putter	4	0	1	0	3	0	0	0
Highland	3	0	3	0	0	0	0	0
Astoria	1	0	0	0	0	1	0	0
Redtop-common	1	0	0	0	0	0	0	1
total	31	8	9	1	4	4	4	1
(%)	100	25.8	29.0	3.2	12.9	12.9	12.9	3.2

a) The anthocyanin production analysis was performed on Jan. 20, 1997.
The anthocyanin production index is 1 (no anthocyanin) to 9 (severe).

Table 3 Total quality index of secondary selected clones.

Total (%)	Total quality index ^{a)}								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
31	0	0	0	0	2	6	14	7	2
(100)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(6.5)	(19.4)	(45.2)	(22.6)	(6.5)

a) The total quality analysis was performed on Nov. 27, 1997.

The total quality index is 1 (worst) to 9 (best).

3) 三次選抜栄養系の諸形質

三次選抜された 9 栄養系のダラースポット病及びブラウンパッチ発病程度、冬季アントシアニンの発現程度を Table 4 に示した。

三次選抜された 9 栄養系のダラースポット病発病平均指数の内訳は、対照品種の「ペンクロス」が指数 2.1 に対し、指数の最も低い系統は「359」と「362」の指数 0.6 で、次いで「339」の 1.3 であった。一方、指数の最も高い系統は「241」の 2.6 であった。なお、別途選抜系統の「9202」は 1.6 であった。三次選抜された 9 栄養系のブラウンパッチの発病指数は、対照品種の「ペンクロス」の指数が 4 であるのに対し、指数の最も小さい系統は「218」、「354」、「362」の指数 1 であり、最も大きい系統は、「235」の 4 であった。なお、選抜系統の「9202」は、3 であった。三次選抜された 9 栄養系のアントシアニン発現指数は、指数の小さい系統は「217」、「229」、「235」、「339」で、指数は 2 であり、最も大きい系統は「241」、「354」、「359」、「362」の 5 であった。なお、対照品種の「ペンクロス」の指数は 7 であり、選抜系統の「9202」は 2 であった。

実験 2. 親栄養系の組み合わせによって得られた合成系統の諸形質

1) 合成系統の隔離採種圃場における各親栄養系の草勢、出穂始日、穂数指数及び採種量

三次選抜された 9 栄養系と「9202」を加えた 10 栄養系のうち 5~6 の親栄養系で構成される「CY-I~III」の 3 合成系統の隔離採種圃場における各親栄養系の草勢、出穂始日、穂数指数及び採種量を Table 5 に示した。

草勢は、1999 年 6 月 25 日、同年 8 月 6 日のいずれもグループ間に有意差は認められなかったが、「CY-III」のグループが「CY-I」や「CY-II」に比べてわずかに劣る傾向が認められた。出穂始日は、グループ間に有意差は認められなかったが、早い方から「CY-III」、「CY-II」、「CY-I」の順であった。また、各グループ内の親栄養系の出穂始日に 3~10 日の開きが認められたが、開花期間は 15 日以上と長く、各グループ内に開花日の重ならない栄養系は観察されなかった。穂数指数の平均値は、グループ間に有意差は認められなかったが、1999 年 7 月 25 日及び同年 8 月 6 日の調査日では、いずれも多いほうから「CY-II」、「CY-I」、「CY-III」の順であった。採種量

Table 4 Degree of disease resistance and anthocyanin production in selected parental clones in winter.

No. of parental clone	Cultivar of parental clone	Disease occurrence		Anthocyanin production ^{c)}
		Dollar spot disease ^{a)}	Brown patch ^{b)}	
217	Shouthshore	1.4	3	2
218	Shouthshore	1.9	1	3
229	SR1020	1.9	3	2
235	SR1020	2.1	4	2
241	Seaside	2.6	2	5
339	SR1020	1.3	2	2
354	National	1.7	1	5
359	Putter	0.6	2	5
362	Putter	0.6	1	5
9202	Pennncross	1.6	3	2
Pennncross		2.1	4	7

a) The dollar spot disease analysis was performed from Jun. 19 to Nov. 18, 1996. The average disease index is 0 (no disease) to 4 (severe).

b) The brown patch analysis was performed on Aug. 5, 1996. The disease index is 0 (no disease) to 4 (severe).

c) The anthocyanin analysis of selected parent clones was performed on Jan. 20, 1997 and the analysis of 9202 and Pennncross was performed on Feb. 17, 1997. The anthocyanin production index is 1 (no anthocyanin) to 9 (severe).

は、「CY-II」が他の合成系統に比べ有意に多く、次いで「CY-I」,「CY-III」の順に多い傾向が認められた。

2) 合成系統のダラスポット病, ブラウンパッチ

耐病性, 耐暑性及び茎密度

親栄養系の組み合わせにより得られた 3 合成系統のダラスポット病発病指数, ブラウンパッチ発病指数, 冬季アントシアニン発現指数, 耐暑性及び茎数を Table 6 に示した。

2001 年 7 月 4 日におけるダラスポット病発病指数は, 「CY-I」は 0.3 であったものの, 「CY-II」と「CY-III」は 0 であり, 「ペンクロス」や「ペン A-4」に比べて小さい傾向が認められた。本病の発生最盛期は, 2001 年 9 月 3 日であり, その発病指数は対照品種が 2.7~3.7 であるのに対して, 「CY-I」が 2.0, 「CY-II」が 1.7, 「CY-III」が 1.0 で, いずれも対照品種に比べて発病指数が小さい傾向が認められた。特に, 「CY-II」と「CY-III」の発病指数は「ペンクロス」や「ペン A-4」に比べて小さかった。

3 合成系統におけるブラウンパッチの発病指数は, 最も多発したと判断された 2000 年 8 月 24 日においても「CY-I」, 「CY-II」, 「CY-III」間で差異が認められず, こ

れら 3 合成系統における発病指数はいずれも対照品種に比べて小さい傾向が認められ, 特に「ペンクロス」に対して小さかった。

3 合成系統におけるアントシアニン発現指数はいずれも 1.0 で, 対照品種に比べて有意に小さかった。

3 合成系統における耐暑性はいずれも対照品種に比べて大きい傾向が認められ, 特に「ペン A-4」, 「ペンクロス」に対して大きかった。

3 合成系統における茎数は, 「CY-II」, 「CY-III」が対照品種に比べて多い傾向が認められ, 特に「CY-III」は, 全ての対照品種に比べ有意に多かった。

以上, 3 合成系統の諸特性について示したが, 3 合成系統間にこれらの特性について明確な差は認められなかった。そこで採種量が最も多かった「CY-II」を有望系統と認め, さらにダラスポット病耐性の高い傾向の認められた「CY-III」の中でダラスポット病耐性の高い特性を持つ「339」由来の合成第 1 代を加えた個体集団を, 育成品種「シーワイター」の育種家種子を採種するための集団とした (Fig. 1)。

Table 5 Plant vigor, head emergence, panicle number and seed production in parental clones of CY- I, II, and III.

Cultivar (Group)	Parental clone	Plant vigor ^{a)}		Average head emergency date in Jun ^{b)} (day)	Panicle number index ^{c)}		Seed production ^{d)} (g/plant)
		1999			1999		
		Jun.25	Aug.6		Jul.25	Aug.6	
CY- I	217	6.8	6.5	21.5	4.8	5.0	7.8
	229	6.8	7.0	22.3	5.5	6.8	9.8
	235	7.0	7.0	23.8	5.3	6.5	9.7
	339	7.0	7.0	22.5	5.5	6.5	13.9
	9202	5.8	6.0	17.0	4.5	5.3	6.4
	Average	6.7	6.7	21.4	5.1	6.0	9.5a
CY- II	217	7.3	7.3	21.0	4.5	4.5	12.2
	218	4.3	4.0	14.8	4.5	6.3	15.3
	241	7.5	7.3	24.0	5.5	5.0	14.8
	354	7.5	7.3	14.5	5.5	7.0	21.2
	359	7.8	7.5	16.5	7.0	8.0	24.6
	362	7.0	7.3	17.8	7.3	8.3	27.7
	Average	6.8	6.7	18.1	5.7	6.5	19.3b
CY-III	217	7.5	7.0	22.0	4.5	5.0	6.5
	218	2.5	3.3	14.0	2.5	4.0	3.8
	339	7.0	6.5	20.3	5.3	4.3	6.2
	359	7.0	6.8	15.3	6.0	7.8	17.1
	9202	5.5	5.8	18.0	3.0	3.3	0.8
	Average	5.9	5.9	17.9	4.3	4.9	6.9a

a) Plant vigor index is 1 (very poor) to 9 (very good).

b) Average head emergency date in Jun was measured on 1999.

c) Panicle number index is 1 (very few) to 9 (very many).

d) Seed production was measured on Aug. 9, 1999.

e) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

実験 3. 品種「シーワイター」の育成と諸形質

「シーワイター」のダラースポット病及びブラウンパッチの発病指数とアントシアニンの発現指数、耐暑性及び茎数を Table 7 に示した。

「シーワイター」のダラースポット病発病指数は、いずれの調査日においても対照品種に比べて小さい傾向が認められ、特に「ペンクロス」に比べて有意に小さかった (Photo. 2)。「シーワイター」のブラウンパッチ発病指数は、2003 年 7 月 31 日と 2003 年 9 月 1 日の両日とも対照の 3 品種に比べて小さい傾向が認められた。「シーワイター」のアントシアニンの発現指数は 2004 年 1 月 28 日、2004 年 2 月 21 日のいずれも 1.0 であり、対照の 3 品種に比べて有意に小さい値を示した (Photo. 3, 4)。「シー

ワイター」の耐暑性は、対照の 3 品種に比べて有意に高かった。「シーワイター」の茎数は、対照品種の「ペンクロス」に比べて有意に多かった。

実験 4. ゴルフ場のパッティンググリーンにおける「シーワイター」の諸形質

「シーワイター」と「ペンA-2」の茎数の推移を Table 8 に示した。

茎数は、2004 年 5 月以降 8 月上旬まで増加傾向を示し、10 月には減少する傾向を示した。「シーワイター」の茎数は、いずれの調査日も「ペンA-2」より少ない傾向が認められた。

「シーワイター」と「ペンA-2」の地下部重の推移を Table 9 に示した。

Table 6 Degree of disease occurrence, anthocyanin production, heat tolerance and number of tillers of tested cultivars.

Cultivar	Disease occurrence ^{a)}				Heat tolerance ^{b)}	Anthocyanin appearance ^{c)}	Number of tillers ^{d)}
	Dollar spot disease		Brown patch				
	2001		2000				
	Jul.4	Sep.3	Jul.6	Aug.24	Sep.9	Jan. 24	Aug.20
CY- I	0.3	2.0	1.3	2.5	5.8	1.0a	166.3b
CY- II	0	1.7	1.2	2.7	5.8	1.0a	224.3bc
CY- III	0	1.0	0.7	2.5	5.8	1.0a	275.0c
L-93	0.3	3.3	1.8	2.8	4.2	6.3b	195.7b
PennA-1	1.5	3.3	1.8	2.7	4.0	7.0b	206.0b
PennA-4	2.2	3.7	1.8	3.2	3.0	7.0b	190.7b
Putter	1.3	2.7	2.0	3.0	4.2	7.0b	165.3ab
Penncross	2.2	3.7	1.7	3.5	3.3	7.3b	117.0a

a) The disease index of dollar spot disease and brown patch is 0 (no disease) to 4 (severe).

b) The heat tolerance index is 1 (very poor) to 9 (very good).

c) The anthocyanin production index is 1 (no anthocyanin) to 9 (severe).

d) The number of tillers is a value per 8.5 c m².

e) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

Table 7 Degree of disease occurrence, anthocyanin production, heat tolerance and number of tillers of tested cultivars.

Cultivar	Disease occurrence ^{a)}						Heat tolerance ^{b)}	Anthocyanin production ^{c)}		Number of tillers ^{d)}
	Dollar spot disease			Brown patch				production ^{c)}		
	2003			2003				2004		
	Jun.23	Jul.31	Sep.1	Jun.23	Jul.31	Sep.1	Sep.1	Jan.28	Feb.21	Jul.30
CY-2	1.0a	1.0a	1.3	0.7	1.0a	1.0a	6.0b	1.0a	1.0a	206.3b
L-93	1.7ab	2.0ab	2.7	1.0	2.0ab	2.3b	4.0ab	3.3b	2.3b	163.0ab
PennA-1	2.0ab	3.7ab	3.7	1.0	2.0ab	2.0ab	4.3ab	4.0b	3.0b	212.0b
Penncross	3.3b	4.0b	3.7	1.0	3.3b	2.0ab	3.0a	5.0c	4.0c	121.7a

a) The disease index of dollar spot disease and brown patch is 0 (no disease) to 4 (severe).

b) The heat tolerance index is 1 (very poor) to 9 (very good).

c) The anthocyanin development index is 1 (no anthocyanin) to 9 (severe).

d) The number of tillers is a value per 8.5 c m².

e) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Scheffe's multiple range test on disease occurrence and heat tolerance, Tukey's multiple range test on anthocyanin production and number of tillers.

地下0～2cmの地下部重は、「シーワイター」が「ペンA-2」に比べて少ない傾向が認められ、「ペンA-2」は10月に著しく低下したが、「シーワイター」はほぼ一定で推移した。地下2～5cmの地下部重は、試験期間中緩やかに減少する傾向は認められたが、「シーワイター」と「ペンA-2」の間に明確な傾向は認められなかった。

「シーワイター」と「ペンA-2」の葉身のアントシアニンの発現の推移をTable 10に示した。

「ペンA-2」のアントシアニンの発現は低温に遭遇した12月以降に確認され、発現程度は、各調査年とも高い値であった。一方、「シーワイター」は、各調査年ともアント

シアニンの発現は極わずかに認められた程度であった (Photo. 5)。

「シーワイター」と「ペンA-2」のボールの転がり程度をTable 11に示した。

ボールの転がりに、品種間の明確な違いは認められなかった。

「シーワイター」と「ペンA-2」の夏季の品質をTable 12に示した。

試験期間中、夏季の品質は、2004年を除いて「シーワイター」が「ペンA-2」に比べて高い傾向が認められた。



Photo. 2 Degree of dollar spot disease resistance of 'CY-2' and some cultivars in Sep. 18,

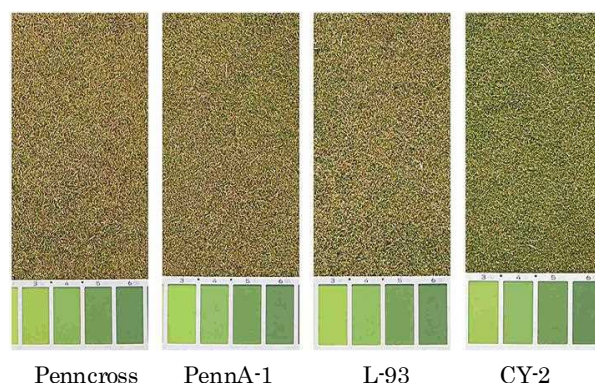


Photo. 3 Degree of winter color of 'CY-2' and some cultivars in Jan. 24, 2005.



Photo. 4 Distant view of 'CY-2' and some cultivars in Winter in 2004.
'CY-2' is circled with square white lines.

Table 8 Number of tillers of tested cultivars in golf course putting green. (2004)

Cultivar	Number of tillers (number/8.5 cm ²)		
	May19	Aug.5	Oct.15
CY-2	145.1 (19.9)	313.7 (25.2)	119.7 (9.7)
PennA-2	183.7 (12.6)	351.3 (25.6)	128.7 (8.3)

a) The figure in parentheses is standard deviation.

Table 9 Root dry weight of tested cultivars in golf course putting green. (2004)

Cultivar	Root dry weight (g/8.5 cm ²)					
	May19		Aug.5		Oct.15	
	0～2 cm ^{a)}	2～5 cm ^{a)}	0～2 cm	2～5 cm	0～2 cm	2～5 cm
CY-2	0.23 (0.02)	0.05 (0.01)	0.16 (0.02)	0.02 (0.01)	0.27 (0.04)	0 (0)
PennA-2	0.40 (0.01)	0.11 (0.02)	0.45 (0.04)	0.04 (0.01)	0.16 (0.03)	0 (0)

a) The figure is depth from the ground level.

b) The figure in parentheses is standard deviation.

Table 10 Anthocyanin production of tested cultivars in golf course putting green.

Cultivar	Anthocyanin production ^{a)}			
	2005 Jan. 11	2006 Feb. 4	2007 Jan. 31	2008 Feb. 14
CY-2	0.5 (0)	0.1 (0)	0.3 (0)	0 (0)
PennA-2	3.0 (0)	7.0 (0)	2.5 (0)	3.0 (0)

a) The anthocyanin production index is 1 (no anthocyanin) to 9 (severe).

b) The figure in parentheses is standard deviation.



PennA-2 CY-2
Photo. 5 Distant view of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'PennA-2' in putting green of IZUMI C.C. in Jan. 9, 2004.

Table 11 Turf green speed of tested cultivars in golf course putting green. (2004)

Cultivar	Green speed (cm)	
	May 19	Aug. 5
CY-2	292.3 (32.0)	223.5 (21.2)
PennA-2	279.3 (39.7)	220.3 (12.4)

a) The figure in parentheses is standard deviation.

Table 12 Turf quality of tested cultivars in golf course putting green.

Cultivar	Turf quality ^{a)}			
	2004 Aug. 5	2005 Sep. 16	2006 Aug. 25	2007 Jul. 25
CY-2	6.0 (0)	6.0 (0)	6.5 (0)	8.0 (0)
PennA-2	6.0 (0)	5.5 (0)	6.0 (0)	7.5 (0)

a) The turf quality index is 1 (bad) to 9 (good).

b) The figure in parentheses is standard deviation.

第4節 考察

親栄養系の一次選抜は、無農薬管理下の品種比較圃場で行った。この間に、夏季の猛暑、ダラースポット病、ブラウンパッチ及びシバツトガの大量発生があり、芝生面積の90%以上で茎葉部の枯死が観察され、その後生存した株においてアントシアニンの発現程度が低い146栄養系統を採取した。これらの系統の中で、二次選抜ではダラースポット病やブラウンパッチに耐病性が認められ、さらにアントシアニンの発現も低く、目的の形質を併せ持つ31個体の親栄養系を選抜することができた。

Engelkeら(1995)及びSkogleyら(1991)は、クリーピングベントグラス品種の育種においてゴルフ場のパッティンググリーンから耐暑性の高い親栄養系の一次選抜を行ったことを報告している。しかしながら、本研究のように無農薬条件下で圃場を管理し、その結果、芝草が高率に枯死するような高温と病害虫の多発生などの過酷な条件下でもなお残存した個体の中から冬季におけるアントシアニン低発現性の個体を選抜することにより、耐病性、耐暑性及び低アントシアニン発現性など複数の良形質を併せ持つ親栄養系の選抜を行った報告は見当たらない。

本試験で用いた選抜手法は、ダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性、アントシアニン低発現性などの複数の形質を併せ持つクリーピングベントグラス品種の育成において、効率的で有効な手法であるものと考えられた。

三次選抜された9栄養系は、品種比較圃場内の「サウスショアー」、「シーサイド」、「ナショナル」、「パター」及び「SR1020」の各試験区内から選抜されたものである。9栄養系の主要な選抜形質は、ダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性、アントシアニン低発現性であるが、「サウスショアー」、「シーサイド」、「ナショナル」、「パター」及び「SR1020」は前記の形質を主要形質として選抜されていない(眞木ら, 1991b)。特に「シーサイド」は、1923年に発表された品種で、品質、耐病性、冬季のアントシアニンの発現において他の品種に比べて劣る品種である(眞木ら, 1991b)。クリーピングベントグラスは、自家不和合成植物で、広範な遺伝的バックグラウンドを持っているため、品種内には豊富な遺伝的変異が存在していると考えられる。

ダラースポット病耐病性やアントシアニン低発現性などの形質で選抜した親栄養系による3合成系統「CY-I ~ III」は、対照品種に比べ、いずれもダラースポット病耐病

性程度が高いものであった。Bonosら（2005, 2006）は、クリーピングベントグラスの育種における系統比較から、ダラスポット病耐病性は強く後代に遺伝すること、また、ダラスポット病耐病性を重視して構成系統を選抜した「デクラレーション」などの合成品種は他の品種に比べて有意にダラスポット病耐病性を示すことを報告している。本試験の結果は、ダラスポット病耐病性の高い親栄養系を用いる交配により、その形質が後代に強く遺伝することを示唆している。

ブラウンパッチ耐病性では、3 合成系統「CY-I ~ III」の発病指数はいずれも「ペンクロス」に比べて低かったが、「ペンクロス」以外の品種に対して明確な差は認められなかった。Bonosら（2006）は、トールフェスク（*Festuca arundinacea* Schreb.）におけるブラウンパッチ耐病性に関して、耐病性が遺伝することを確認しているが、その発病の程度は群落下の湿度など微気象の影響が大きいと結論づけている。本研究の結果においても耐病性形質の遺伝

性が認められたものの、Bonosら（2006）が指摘した点を考慮して、更なる調査が必要であるものと考えられた。

冬季のアントシアニン発現程度の低い親栄養系で構成された3 合成系統「CY-I ~ III」は対照品種に比べてアントシアニン発現程度は有意に低くなっていた。これまでに、冬季のアントシアニン低発現性を育種目標として育成されたクリーピングベントグラス品種はなく、アントシアニン低発現性の遺伝性に関してこれまで明確に示された報告は見当たらない。本試験の結果は、親栄養系のアントシアニン低発現形質は、後代に強く現れることを示している。このことから、本研究の成果はアントシアニン低発現性を目指した品種の育成に可能性を示したものと考えられた。

育成品種「シーワイツ」のダラスポット病耐病性及びブラウンパッチ耐病性は、この試験で用いた対照品種に比べて高く、冬季のアントシアニンの発現も対照品種に比べて低い傾向を示した。これらの結果から、親栄養系のダ

Table 13 Dollar spot disease, brown patch and winter color ratings of creeping bentgrass cultivars in NTEP 2004-2007date (NTEP 2008).

Cultivar	Dollar spot disease ratings	Brown patch ratings	Winter color ratings
007	6.9	7.9	5.5
13-M	7.5	8.2	5.3
ALPHA	5.4	7.2	5.1
AUTHORITY	6.4	6.8	5.2
BENCHMARK DSR	7.6	7.1	5.1
BENGAL	4.9	6.4	5.4
COBRA 2	6.9	7.7	5.4
CY-2	7.3	7.7	5.7
DECLARATION	8.1	7.7	5.4
INDEPENDENCE	4.2	7.9	5.0
KINGPIN	7.3	7.3	5.3
LS-44	6.2	7.7	5.0
MACKENZIE	6.3	8.2	5.2
MEMORIAL (A03-EDI)	7.9	7.6	5.4
PENN A-1	6.9	7.0	5.2
PENNCROSS	6.5	6.5	4.6
PENNLINKS II	7.2	6.2	4.7
SHARK (23R)	5.3	7.7	5.3
T-1	5.0	7.6	5.3
TYEE (SRX 1GD)	5.5	8.4	5.4
LSD VALUE	0.9	1.5	0.6
C.V. (%)	16.8	16.2	11.9

- a) The disease ratings of dollar spot disease and brown patch is 1 to 9 (no disease).
 b) The winter color ratings is 1 to 9 (Complete color retention).
 c) The dollar spot disease date is mean of 9 tested location.
 d) The brown patch date is mean of 5 tested location.
 e) The winter color date is mean of 7 tested location.

ラースポット病耐病性及びアントシアニン低発現性は、後代での再現性が高い形質であると考えられた。

育成品種「シーワイター」の諸形質について、ゴルフ場のパッティンググリーン及び農林総合研究センターの試験圃場内でその後も継続調査を行っているが、いずれの形質も高い再現性を有することを確認している。また、Table 13 に見るように 2004～2007 年の全米芝草評価プログラム (NTEP, 2008) において、「シーワイター」はダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性及び冬季緑度において、本試験の対照品種である「ペンクロス」や「ペン A-1」より常に評価点は高く、全供試品種の中でも常に上位にあり、高い再現性が確認されている。

第5節 摘 要

クリーピングベントグラスの親栄養系の一次選抜は、無農薬管理下の品種比較圃場で行った。

選抜前年の夏季は猛暑となり、また、無防除のためダラースポット病、ブラウンパッチ及びシバツトガの大量発生により多くの個体は枯死したが、生存した株を対象に冬季

のアントシアニン発現程度が明らかに低い 146 栄養系統を選抜した。最終的に、ダラースポット病耐病性及びブラウンパッチ耐病性が高く、冬季のアントシアニン発現性の低い 9 栄養系を選抜した。この 9 栄養系に加えてダラースポット耐病性が高く、冬季のアントシアニン発現性が低いことが確定し既に分離していた 1 栄養系を加えた 10 栄養系を用いて、5～6 の親栄養系の組み合わせにより「CY-I」、「CY-II」、「CY-III」の 3 合成系統を育成し、採種性及び 3 合成系統のダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性及びアントシアニン発現程度について調査した。3 合成系統は、供試した既存の対照品種に比べてダラースポット病耐病性が高く、冬季アントシアニンの発現が低かった。これらの結果に基づいて、3 合成系統の中で採種量の多かった「CY-II」にダラースポット病耐病性が高い傾向を示した「CY-III」の 1 親栄養系「339」由来の合成第 1 代を加えた個体集団から合成品種「シーワイター」を育成した。育成された「シーワイター」は、既存品種である「L-93」、「ペン A-1」や「ペンクロス」に比べてダラースポット病及びブラウンパッチに対する耐病性は高く、冬季のアントシアニンの発現性は低かった。

第三章 夏季における「シーワイツ」の生育特性と無機成分含量

第1節 はじめに

寒地型植物であるクリーピングベントグラスの生育適温域は、16～24℃にあり（Beard, 1973a），夏季に高温多湿環境となる日本では、その時期の生育衰退が大きな問題となっている。この現象は、高温、土壤の過湿条件、病害感染等の複数の要因が関係しているとみられるが、中でも高温が大きな原因と考えられている（Huang, 2004）。本草種の夏越しが難しいとされる日本では、灌水、殺菌剤散布等の管理作業量、コース管理者の精神的な負担などを考慮した場合、耐病性や耐暑性が高い品種を使用することで、夏季ばかりでなく年間を通じて良好な芝生品質が維持でき、管理費の削減に役立つと考えられる。そのため、近年、耐病性、耐暑性など環境ストレスに強い耐性を持つ新品種が育成され（Toubakariss, 2000; Bonos, 2005）導入されている。一方で、農薬使用による環境への負荷を考慮して、ゴルフ場における農薬の使用量を削減する動きは、近年世界的な傾向である（Potter, 2005; McCarty ら, 2005）。千葉県農林総合研究センターでは、1990 年以降ゴルフ場の無農薬化を目指し、無農薬管理技術の開発に取り組んできた。クリーピングベントグラスグリーンを減農薬、無農薬で管理した場合、夏季にはダラースポット病、ブラウンパッチ、炭疽病（*Colletotrichum graminicola* (Ces.) G.W.Wils.）が発生し、生育が著しく衰退する。そこで、耕種的対策の一環として、当センターでは雪印種苗（株）と共同でダラースポット病、ブラウンパッチに対する耐病性と耐暑性を併せ持つ種子繁殖性クリーピングベントグラス品種「シーワイツ」を育成した（加藤ら, 2005）。

このような新品種の開発と導入が積極的に行われる中で、品質など実用的な特性とともに、体内無機成分含量など生理的な特性についての関心も高まっている。カリウム（K）は、多くの作物において土壌から最も多く吸収される元素であり、蒸散作用、細胞組織の構造、物質生産、病害抵抗性に関わっている（Beard, 1973b; 山本, 1987）。一方、K の吸収は、カルシウム（Ca）やマグネシウム（Mg）と拮抗的関係にある（Hovland ら, 1960; Miller, 1999; 山本, 1987）。また、Ca の吸収は、高等植物では K に次いで高く、生体膜の構造、機能の維持に関わっており、寒地型芝草において夏季の生育衰退との関連性が示唆されている（Jiang ら, 2001a, b）。

芝草の養分吸収は施肥量、温度、土壌水分などの生育環

境に大きく影響を受け、生育環境の変化に対する養分吸収の変動に関しては部分的には解明されつつあるが（秋篠, 2001）、品種間の違いに関しては多くの新しい品種が断続的に市場に出されることもあり、ほとんど研究されていない。そこで、主要品種の吸肥特性を明らかにすることは、減農薬、無農薬管理条件下での健全な芝生品質を維持できる新品種を育成する際に役立つものと考えられる。

本章では、減農薬、無農薬管理条件下におけるクリーピングベントグラス品種「シーワイツ」の夏季における生育特性を明らかにするため「L-93」及び「ペンクロス」を対照に夏季の刈り取り量、芝生品質と葉身の無機成分含量との関係を検討した。

第2節 材料及び方法

供試品種は、クリーピングベントグラスの3品種「シーワイツ」、「L-93」及び「ペンクロス」を用いた。

2001 年 10 月 12 日に千葉県農林総合研究センター内の USGA 工法に準じて造成されたサンドグリーンに、1 播種区画を 2m×2m とし、10 g/m²播種した。播種区画は、3 反復とした。芝生形成後、2003 年までの 1 年間の施肥は、化成肥料（N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 8 : 17）を用いて窒素成分で 1 か月当たり 0.5～2 g/m²行い、1 年間に合計 16g/m²施用した。刈り込みは、刈り高 5mm で週 5 回行った。病害虫の発生を抑制するため、試験区全面にフェニトロチオン乳剤を適宜散布した。また、プロピコナゾール・メブロニルを 2002 年 10 月に散布した。2003 年及び 2004 年の調査期間中の 5～10 月までの施肥は、化成肥料（N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 8 : 17）を窒素成分で 1 か月当たり 1～2 g/m²とし、合計 10g/m²施用した。刈り込みは、刈り高 5mm で週 5 回行った。2003 年以降、各品種の区画内の任意の部分に、殺菌剤を処理しない殺菌剤無処理区（1m×2m）、対照区として殺菌剤を処理する殺菌剤処理区（1m×1m）を設定した。その他の部分は区外として管理した。殺菌剤処理区では、2003 年はアゾキシストロビン、イプロジオン、キャプタン、プロピコナゾール・メブロニル、フルトラニル・プロピコナゾール、2004 年はアゾキシストロビン、イミノクタジン酢酸塩、イプロジオン、プロピコナゾール・メブロニルのいずれかを調査期間中の 5～10 月に月 1～2 回の頻度で散布した。また、試験期間中の虫害の発生を抑制するため、試験区画全面にフェニトロチオン乳剤を適宜散布した。

刈り取り収量は、2003年と2004年の5～10月の間、ほぼ1か月に1回の頻度で刈高5mmに設定したリール式グリーン用芝刈機（グリーンモア）を用いて葉身を刈り取り、70℃で風乾し秤量した。成分分析用の試料は、2003年と2004年の7～9月にかけてほぼ3週間に1回の頻度で刈高5mmに設定したグリーンモアを用いて葉身を刈り取り、70℃で風乾した。無機成分の分析は、窒素（N）含量はNCアナライザーによって、カリウム（K）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）含量は、450℃で灰化後 $1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 塩酸で抽出し、原子吸光法（作物分析法委員会1975）によって測定した。なお、2003年7月28日、2004年8月24日以外は「シーワイツー」と「ペンクロス」の2品種の測定を行った。

芝生品質は、2003年は5月9日、6月23日、7月31日、9月1日、9月27日、2004年は5月30日、6月30日、7月29日、8月30日、10月3日に目視によって、葉色、茎密度、均一性、罹病性、環境ストレス耐性などを総合的に評価し、1：劣悪～9：理想の9段階で評価した。なお、ゴルフ場で最低限維持すべき品質は、6以上である。

第3節 結果

1) 刈り取り収量

殺菌剤無処理区の2003年と2004年の品種別の植物体葉身部の刈り取り収量をFig. 2に示した。

刈り取り収量は、2003年はいずれの品種も調査開始時の5月29日以降急激に低下し、5月29日から7月4日まで「シーワイツー」と「L-93」が、「ペンクロス」に比

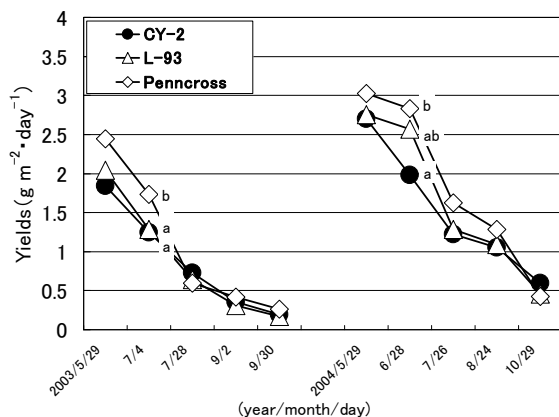


Fig.2 Seasonal changes in clipping yields of three creeping bentgrass cultivars 'CY-2', 'L-93' and 'Penncross' under non fungicide treated condition in 2003 and 2004. Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

べて低く推移する傾向がみられ、7月4日に有意差が認められた。2004年は、2003年と同様にいずれの品種も調査開始時の5月29日以降低下し、5月29日から8月24日まで、「シーワイツー」と「L-93」が、「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向がみられ、6月28日に「シーワイツー」と「ペンクロス」に有意差が認められた。

殺菌剤処理区の2003年と2004年の品種別の植物体葉身部の刈り取り収量をFig. 3に示した。

2003年は、7月28日以降急激に低下し、調査開始時の5月29日を除き、いずれの品種もほぼ同様の値で推移した。2004年は、いずれの品種も2003年よりも緩やかに減少する傾向がみられ、5月29日から8月24日まで、「シーワイツー」が、「L-93」と「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向がみられた。

2) 芝生品質

殺菌剤無処理区の2003年と2004年の芝生品質をFig. 4に示した。

芝生品質は、調査年のいずれも「シーワイツー」、「L-93」、「ペンクロス」の順に高く推移する傾向がみられ、特に「シーワイツー」と「ペンクロス」の間では2003年は5月9日以外の全調査日、2004年は6月30日以外の全調査日で有意差が認められた。

殺菌剤処理区の2003年と2004年の芝生品質をFig. 5に示した。

2003年は、6月23日から9月1日まで「シーワイツー」が「ペンクロス」に比べて高く推移する傾向がみられ、9月1日に有意差が認められた。2004年は、全調査日で「シーワイツー」と「L-93」が「ペンクロス」に比べて高く推移する傾向がみられた。

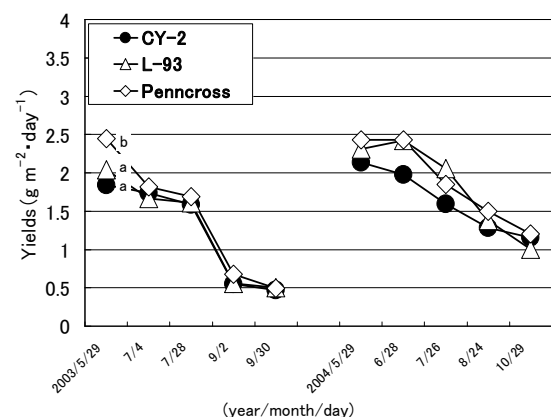


Fig.3 Seasonal changes in clipping yields of three creeping bentgrass cultivars 'CY-2', 'L-93' and 'Penncross' under fungicide treated condition in 2003 and 2004. Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

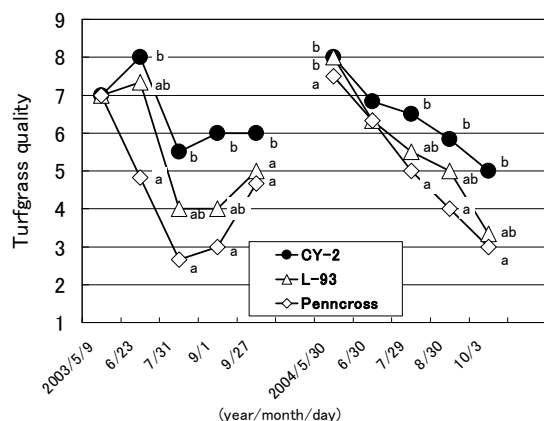


Fig.4 Seasonal changes in turfgrass quality of creeping bentgrass cultivars 'CY-2', 'L-93' and 'Penncross' under non fungicide treated condition in 2003 and 2004. Quality rated from 1(worst) to 9(best). Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Scheffe's multiple range test.

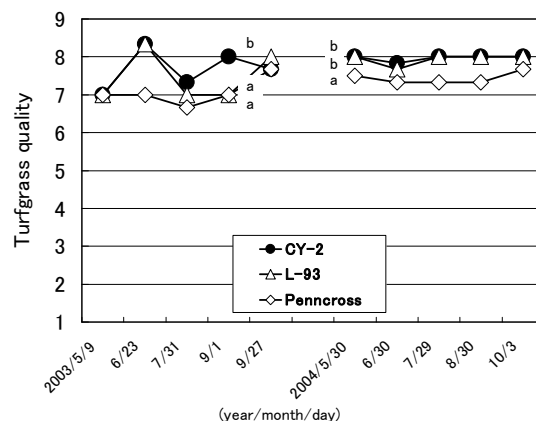


Fig.5 Seasonal changes in turfgrass quality of creeping bentgrass cultivars 'CY-2', 'L-93' and 'Penncross' under fungicide treated condition in 2003 and 2004. Quality rated from 1(worst) to 9(best). Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Scheffe's multiple range test.

3) 無機成分 (N, K, Ca, Mg) 含量

品質に明らかな品種間差が確認された 2003 年 7 月 28 日と 2004 年 8 月 24 日の殺菌剤無処理区の無機成分含量を Table 14 に示した。

N 含量は、両年とも品種間に有意差は認められなかった。K 含量は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に高かった。Ca 含量は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」, 「ペンクロス」の順に少ない傾向が認められ、「シーワイター」と「ペンクロス」との間に有意差が認められた。Mg 含量は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向がみられたが、有意差は認められなかった。

2003 年 7 月 28 日と 2004 年 8 月 24 日の殺菌剤無処理区の各無機成分含量間の比を Table 15 に示した。

K/N 比は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に高かった。K/Ca 比は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」, 「ペンクロス」の順に高い傾向がみられたが、2003 年は「シーワイター」及び「L-93」と「ペンクロス」との間に、2004 年は「シーワイター」と「ペンクロス」との間に有意差が認められた。K/Mg 比は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」, 「ペンクロス」の順に高い傾向がみられ、特に「シーワイター」は「ペンクロス」に比べて有意に高かった。Ca/Mg 比は、両年とも有意差は認められなかったが、「シーワイター」, 「L-93」, 「ペンクロス」の順に低い傾向がみられた。

殺菌剤処理区の K/Ca 比, K/Mg 比について、2004 年 7 月 12 日から 9 月 16 日の 2 か月間の推移を Fig. 6, Fig. 7 に示した。

K/Ca 比は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に高く推移した。また、K/Mg 比は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に高く推移した。このことから、両比には期間を通じて明確な品種間差のあることが示された。

品質に品種間差が確認された 2003 年 7 月 28 日と 2004 年 8 月 24 日の殺菌剤処理区の無機成分含量を Table 16 に示した。

N 含量は、両年とも品種間に有意差は認められなかった。K 含量は、2003 年は「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に多く、2004 年は「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に多かった。Ca 含量は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に少なかった。Mg 含量は、2003 年は「シーワイター」が「L-93」, 「ペンクロス」に比べて有意に少なく、2004 年は「シーワイター」, 「L-93」, 「ペンクロス」の順に有意に少なかった。

2003 年 7 月 28 日と 2004 年 8 月 24 日の殺菌剤処理区の各無機成分含量間の比を Table 17 に示した。

K/N 比は、両年とも有意差は認められなかった。K/Ca 比は、両年とも「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に高かった。K/Mg 比は、2003 年は、「シーワイター」, 「L-93」, 「ペンクロス」の順に有意に高く、2004 年は、「シーワイター」, 「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に高かった。Ca/Mg 比は、両年とも「L-93」, 「シーワイター」, 「ペンクロス」の順に低い傾向がみられ、2003 年には「L-93」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった。

Table 14 Mineral nutrient concentrations of three creeping bentgrass cultivars tissue of non fungicide treated condition in 2003 and 2004. Samples were taken in 28 Jul. 2003 and 24 Aug. 2004.

Cultivar	N		K		Ca		Mg	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
g·kg ⁻¹ dry wt of tissue								
CY-2	36.3	42.2	22.1b	25.1b	4.4b	4.8b	1.7	1.9
L-93	37.2	40.7	22.3b	25.8b	4.6ab	5.7ab	1.7	2.1
Pennncross	36.7	41.2	20.1a	23.1a	5.0a	6.9a	1.8	2.2

a) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

Table 15 Mineral nutrient ratio of three creeping bentgrass cultivars tissue under non fungicide treated condition in 2003 and 2004. Samples were taken in 28 Jul. 2003 and 24 Aug. 2004.

Cultivar	K/N		K/Ca		K/Mg		Ca/Mg	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
CY-2	0.61b	0.59c	4.99b	5.38b	13.27b	13.01b	2.67	2.48
L-93	0.60b	0.64b	4.82b	4.54ab	13.15b	12.50ab	2.73	2.76
Pennncross	0.55a	0.56a	4.00a	3.39a	11.01a	10.41a	2.75	3.07

a) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

Table 16 Mineral nutrient concentrations of three creeping bentgrass cultivars tissue under fungicide treated condition in 2003 and 2004. Samples were taken in 28 Jul. 2003 and 24 Aug. 2004.

Cultivar	N		K		Ca		Mg	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
g·kg ⁻¹ dry wt of tissue								
CY-2	38.5	43.2	22.5b	26.2ab	4.4a	6.0a	1.7a	1.8a
L-93	38.2	41.7	22.3b	26.6b	4.8a	6.2a	1.9b	2.0b
Pennncross	35.5	42.1	19.5a	24.7a	5.7b	8.1b	2.0b	2.2c

a) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

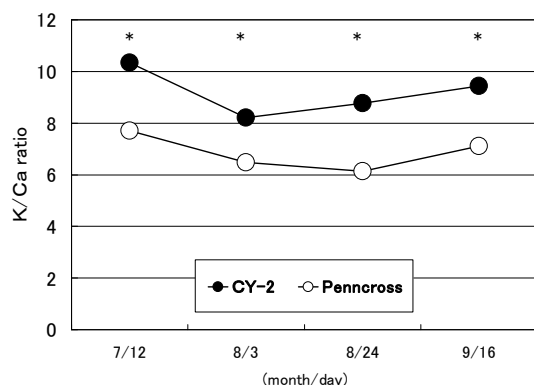


Fig.6 Seasonal changes in K/Ca ratio of creeping Bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' tissue under fungicide treated condition in 2004. Asterisks show significant differences between the cultivars at 5% by *t* test.

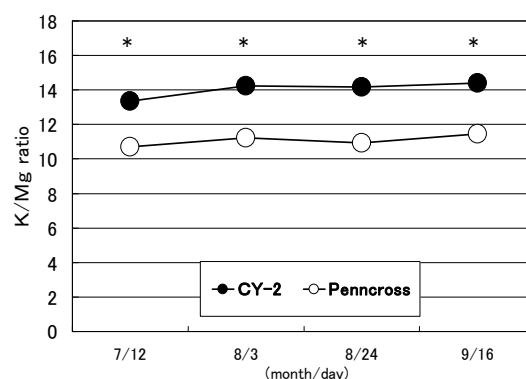


Fig.7 Seasonal changes in K/Mg ratio of creeping Bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' tissue under fungicide treated condition in 2004. Asterisks show significant differences between the cultivars at 5% by *t* test.

Table 17 Mineral nutrient ratio of three creeping bentgrass cultivars tissue under fungicide treated condition in 2003 and 2004. Samples were taken in 28 Jul. 2003 and 24 Aug. 2004.

Cultivar	K/N		K/Ca		K/Mg		Ca/Mg	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
CY-2	0.59	0.61	5.12b	4.40b	13.79c	14.31b	2.65ab	3.25
L-93	0.58	0.64	4.68b	4.28b	11.95b	13.55b	2.53a	3.17
Pennncross	0.55	0.59	3.43a	3.06a	9.76a	11.06a	2.83b	3.61

a) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

第4節 考 察

殺菌剤無処理区の供試3品種の刈り取り量は、2003年、2004年とも5月下旬以降低下した。特に、7月下旬までの低下程度は著しく、2003年7月28日、2004年7月26日の刈り取り量は供試品種全てにおいて殺菌剤処理区の50～70%であった。ダラースポット病及びブラウンパッチの激しい発病が各試験区内で観察され、これに伴い7月下旬以降の品質が著しく低下したことから、刈り取り収量の低下は、病害による生育障害がその要因の一つと考えられた。また、7月下旬以降の品質の品種間差は、殺菌剤処理区に比べ殺菌剤無処理区で大きくなる傾向を示した。これは、夏季品質の低下が病害によって引き起こされていることを示唆しており、耐病性の品種間差が品質の品種間差に関係していると考えられた。

無機成分含量は、2004年が2003年に比べて、供試品種全ての試験区で多い傾向があった。このことは、養分吸収量は、芝草の生育する環境等によって影響を受けることを示唆している。しかし、年次間差はあるものの品種間差は顕著に認められ、K含量は「L-93」、「シーワイター」で多く、CaやMgの含量は「ペンクロス」で多かった。本試験では、病害等環境要因による吸収量の影響を考慮して殺菌剤処理区と殺菌剤無処理区を設定したが、殺菌剤の処理の有無にかかわらず同様な傾向を示した。

一般に、Kの吸収は、CaやMgと拮抗しているとされている。また、Waddingtonら(1972, 1978)は、クリーピングベントグラスへのK肥料の施用によって、MgやCaの含量が低下したことを報告している。Miller(1999)は、バミューダグラスのK、Ca、Mgの吸収量に品種間差があることを示している。本試験では、K含量の低い「ペンクロス」でCaとMgの含量が高く、K含量の高い「シーワイター」、「L-93」でCa、Mgの含量が低かったことから、この拮抗関係にも品種間差があることが示された。この関係は、K/Ca比、K/Mg比で明確に示され、かつ年次及び殺菌剤処理の有無による差は小さいことから、品種特性あるいは体内養分のバランスを把握するための有効

な指標になると考えられた。

Kは、セルロース、リグニンなど細胞壁構成物質の合成を促し、細胞壁を厚くすることによって組織の安定性や病原菌に対する抵抗性を高めるとされている(Beard 1973b, 山本 1987)。Marklandら(1969)は、クリーピングベントグラスの葉身中のK含量とダラースポット病の病斑数には高い負の相関があることを示した。また、Gossら(1967)は、Kがクリーピングベントグラスのオフィオボラスパッチ(*Gaeumannomyces graminis* var. *avenae*)の発病を抑制したことを報告している。本試験に供試した「シーワイター」は、ゴルフ場等の芝草の無農薬管理技術開発の一環として、耐病性と耐暑性を併せ持つ品種として育成された。本品種は、殺菌剤無処理区で、「ペンクロス」に比較してダラースポット病やブラウンパッチの発病程度が低く(加藤ら, 2005)、2003年、2004年の品質は、年次間差はあるものの、「L-93」、「ペンクロス」に比べ常に高く推移した。また、本品種のK含量は「ペンクロス」よりも多かったが、「L-93」との間に明確な傾向は認められなかった。K/Mg、K/Caの値が夏季芝生品質で高い値を示した「シーワイター」で最も高かったことを考慮すると、植物体中におけるKとMg、KとCaとのバランスが夏季芝生品質と関係があると考えられた。Caは主に細胞の骨格を形成する元素として知られているが、一方で膜構造維持の機能もあり、Ca欠乏条件では、植物根の膜組成に変化が見られ、膜を構成する成分のうち、脂質、特にリン脂質の減少が著しい(Yapa, 1986)。Caイオンは、ヒートストレスをはじめ様々なストレスに対して調節機能をはたし、アンチオキシダント酵素の活性を高めるとの報告もある。Jiangら(2001b)は、トールフェスクやケンタッキーブルーグラスにCaを処理したところ、夏季衰退の要因とされる活性酸素による脂質の酸化が抑制されることを報告している。本試験の結果からは、Ca含量と品質には品種間に明確な傾向は認められなかった。

本試験では、K/Mg比、K/Ca比が「シーワイター」で高く、供試品種間で大きく異なる結果が得られた。これらの特性は、品種固有の特性であると考えられる。近年、耐病

性及び耐暑性に優れた多くの品種が育成されている。今後、これら無機成分含量のバランスと耐病性や耐暑性など、芝生品質に関わる特性との関連について、さらに解明を進める必要がある。

第5節 摘 要

減農薬、無農薬管理条件下におけるクリーピングベントグラスの夏季衰退現象軽減対策の一助とするため、「L-93」, 「ペンクロス」を対照に「シーワイツー」の夏季の

生育と葉身の無機成分含量の違いを検討した。その結果、各品種の無機成分含量は、「シーワイツー」は「L-93」と同様に「ペンクロス」に比べてCaとMgの含量が少なく、K含量が多い傾向が認められた。K/Mg比, K/Ca比は、「シーワイツー」が「L-93」, 「ペンクロス」に比べて高い傾向があり、この傾向に年次変動は認められなかった。葉身の刈り取り収量には明確な品種間差は認められなかったが、グリーンの芝生品質は「シーワイツー」が「L-93」, 「ペンクロス」に比べて高く推移する傾向が認められた。

第Ⅳ章 クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の 晩秋季における芝生表面に結露した水滴の無機成分 濃度と EC 値及び pH との関係

第 1 節 はじめに

ゴルフ場のパッティンググリーンに使用されるクリーピングベントグラスは、高温による生育障害を受けるとともに、グリーンモアによる刈り込み、ゴルファーによる踏圧とスパイクによる葉の損傷など葉の生体が常に障害を受ける。また、高温や低温、乾燥などの環境条件にさらされると葉の老化の進行が早まり、老化の進行に伴い葉の細胞から電解質が漏出する (Huang ら, 2001 ; Huang, 2004) 。この漏出には季節変化や品種間差があり (Huang ら, 2001 ; Huang, 2004) , 電解質の漏出の程度は、ストレスに対する細胞膜の安定性を示す指標とされている (Huang ら, 2001) 。また、雨、露、霧などによって植物の葉や茎などから物質が溶出する現象はリーチングと呼ばれている (Tukey, 1970) 。リーチングによる物質の溶出程度には、植物の種類、品種及び葉内の栄養状態により違いがあるとされる (木村, 1997a ; Tukey ら, 1958 ; Tukey ら, 1964) 。

春から晩秋季にクリーピングベントグラスグリーンの芝生表面には結露した水滴が付着する。芝生表面に結露した水滴は、大気中の水蒸気由来の水分と芝葉身の切断面からの溢液あるいは葉の細胞から溶出する電解質とから構成されていると考えられる。第Ⅲ章では、クリーピングベントグラスの葉身中の無機成分含有率に品種間差があることを明らかにした (加藤ら, 2009) 。従って、葉から発生するこの電解液の EC 値や無機成分を調べることは、芝の栄養状態や生理状態を知る手がかりになると考えられる。また、クリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴の EC 値や無機成分特性を明らかにすることは、特に減農薬、無農薬管理条件下で芝生品質を健全に維持する指標として役立つものと考えられる。

肥料、土壌及び植物体中に含まれるカリウム (K) , カルシウム (Ca) , マグネシウム (Mg) 等の無機塩類を測定する方法は、一般的に原子吸光光度法が用いられている。しかし、この方法で上記無機塩類を測定すると、溶液中のリン酸等の共存物質のために測定値が低くなることがある (古賀ら, 2004, 越野, 1988) 。そのため、肥料分析においては、元素に応じた干渉抑制剤を添加して測定されている (越野, 1988) 。クリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴にも共存物質が存在する可能性があり分析方法を検討する必要がある。また、高温期には芝

生表面に結露する水滴量が分析に必要な最低量より少ないこともある。

本章では、クリーピングベントグラスの品種の中で耐暑性の高い品種である「シーワイター」について、夏越しして衰退が起きていると考えられる晩秋に注目し、耐暑性の低い品種である「ペンクロス」 (加藤ら, 2010) を対照に芝生の表面に結露した水滴中の無機成分含量の測定における干渉抑制剤の添加効果の確認と、芝生の表面に結露した水滴中の pH, EC 値, 無機成分含量の変動を比較し、栄養状態や生理状態を簡易に推定することが可能かを検討した。

第 2 節 材料及び方法

1) 芝生の管理

供試品種として、クリーピングベントグラスの「シーワイター」と「ペンクロス」の2品種を用いた。2001年10月12日に千葉県農林総合研究センター内のUSGA工法に準じて造成されたサンドグリーンに、2m×2mの区画を3連制で設け、種子10 g/m²を播種した。各品種の区画内には殺菌剤の散布を行わなかったが、試験期間中、害虫の発生を防ぐため、試験区全面にフェニトロチオン乳剤を登録適用濃度で適宜散布した。芝生成後の施肥は、化成肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 8 : 17) を窒素成分で1か月当たり0.5～2g/m²行い、1年間に合計16g/m²施用した。試験期間中の2005年5～11月までの施肥は、化成肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 8 : 17) を窒素成分で1か月当たり1～2g/m²とし、合計11g/m²施用した。特に、芝生表面に結露した水分の採取に影響のある9～11月の施肥日は、9月9日、10月3日、10月19日、11月7日である。刈込みは、グリーンモアを用い刈高5mmで週5回の頻度で行った。

2) 芝生表面に結露した水滴の採取

2005年10月13日、28日、11月10日の朝7時30分～8時30分にかけて、芝生表面上に結露した水滴 (Photo. 6) のみを、脱脂綿を用いて土壌表面などに接触しないように注意深く採取した。脱脂綿に吸収させた水分は、ろ紙 (No.1) で50 ml 遠沈管中へろ過回収した後、分析に供した。

3) 芝生表面に結露した水滴の無機成分の化学分析

採取した水滴の pH と EC 値は、それぞれ pH メーター (堀場製作所 B-212) と EC メーター (堀場製作所 B-173)



Photo. 6 Dew on creeping bentgrass test green in Jun.4, 2004.

を用いて測定した。水滴中に含まれると想定される無機成分の内、本報では NO_3^- 、K、Ca、Mg を定量することとし、 NO_3^- 濃度は硝酸イオンメーター（堀場製作所 NO_3^- C-141）を用いて測定、その他は原子吸光分析器（HITACHI Z-2310）を用いて定量した。また、本報では同一条件で測光して作成した検量線を実際の分析定量時に使用した（越野 1988）。採取した水滴中に原子吸光分析時の原子化効率に影響を与える共存物質が存在していることが推測されたため、干渉抑制剤として K の定量には濃塩酸に炭酸カルシウムを溶解し希釈後、塩酸濃度 0.1M、Ca 濃度 500 mg/L の溶液、また、Ca 及び Mg 濃度を測定するために添加する干渉抑制剤は濃塩酸に塩化ランタンを溶解し希釈後、塩酸濃度 0.5M、ランタン濃度 2,000 mg/L の溶液を添加区あるいは無添加区としてそれぞれ 3 反復測定した。

第3節 結果

1) 「シーワイター」と「ペンクロス」の芝生表面に結露した水滴中の EC 値、 NO_3^- 濃度及び pH

芝生表面に結露した水滴の EC 値、 NO_3^- 濃度及び pH を Table 18 に示した。

「シーワイター」の EC 値は 0.05~0.25ms/cm、「ペンクロス」では 0.07~0.40ms/cm の範囲にあり、調査日によって値が大きく変動し、変動の傾向は両品種に共通して

いた。いずれの調査日も「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向を示した。「シーワイター」の NO_3^- 濃度は 15.5~46.3ppm、「ペンクロス」では 15.3~43.0ppm の範囲で変動したが、両品種に類似の変動傾向が見られた。品種間に明確な傾向は認められなかった。「シーワイター」の pH は 5.9~6.8、「ペンクロス」では 6.0~6.9 の範囲で変動したが、両品種に類似の変動傾向が見られた。品種間に明確な傾向は認められなかった。

2) 干渉抑制剤添加が「シーワイター」と「ペンクロス」の芝生表面に結露した水滴中の K、Ca 及び Mg の原子吸光分析値に及ぼす影響と品種間差

芝生表面に結露した水滴中の K、Ca 及び Mg の原子吸光分析結果を Table 19 に示した。

「シーワイター」と「ペンクロス」の K 濃度の測定値は、干渉抑制剤として炭酸カルシウムを添加することにより無添加区に比べて数値が向上し有意差が認められた。

「シーワイター」と「ペンクロス」の K 濃度は、「シーワイター」が「ペンクロス」より干渉抑制剤添加区、無添加区いずれも 11 月 10 日の無添加区以外試験期間を通じて有意に低い値を示していることが認められた。

「シーワイター」と「ペンクロス」の Ca 濃度の測定値は、干渉抑制剤として塩化ランタンを添加することにより無添加区に比べて著しく数値が向上し、有意差が認められた。「シーワイター」と「ペンクロス」の Ca 濃度は、「シーワイター」が「ペンクロス」より干渉抑制剤添加区、無添加区いずれも全試験期間を通じて低い傾向を示していることが認められた。

「シーワイター」と「ペンクロス」の Mg 濃度の測定値は、干渉抑制剤として塩化ランタンの添加による数値の向上は認められなかった。「シーワイター」と「ペンクロス」の Mg 濃度は、「シーワイター」が「ペンクロス」より干渉抑制剤添加区、無添加区いずれも全試験期間を通じて有意に低い値を示していることが認められた。

3) 「シーワイター」と「ペンクロス」の芝生表面に結露した水滴の EC 値と NO_3^- 濃度、干渉抑制剤を添加した K、Ca 及び Mg 濃度分析値との関係

芝生表面に結露した水滴の EC 値と NO_3^- 濃度、干渉抑制剤を添加して測定した無機成分濃度分析値との関係を Table 20 に示した。

「シーワイター」における EC 値と無機成分濃度との関係は、いずれも高い相関がみられ、 NO_3^- 濃度では $r=0.94$ 、K 濃度では $r=0.97$ 、Ca 濃度では $r=0.99$ 及び Mg 濃度では $r=1.00$ であった。

「ペンクロス」における EC 値と無機成分濃度との関係は、いずれも高い相関がみられ、 NO_3^- 濃度では $r=0.94$ 、K 濃度では $r=0.99$ 、Ca 濃度では $r=0.94$ 、Mg 濃度では

Table 18 Electric conductivity (EC), nitrate concentration (NO₃⁻ mg/L) and pH values of dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in 2005.

Cultivar	EC (ms/cm)			NO ₃ ⁻ (mg/L)			pH		
	Oct.13	Oct.28	Nov.10	Oct.13	Oct.28	Nov.10	Oct.13	Oct.28	Nov.10
CY-2	0.25	0.05	0.14	46.3	15.5	17.4	6.8	5.9	5.9
Pennncross	0.40	0.07	0.18	43.0	15.3	16.8	6.9	6.0	6.1
<i>t</i> test	*	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

a) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by *t* test.
NS shows no significant effect.

Table 19 The effects of matrix modifiers on mineral concentration in the late fall dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in 2005.

Cultivar	Modifiers Without(-) With(+)	K (mg/L) ^{a)}			Ca (mg/L) ^{b)}			Mg(mg/L) ^{c)}		
		Oct. 13	Oct. 28	Nov. 10	Oct. 13	Oct. 28	Nov. 10	Oct. 13	Oct. 28	Nov. 10
CY-2	—	21.75a	2.75a	15.11a	3.19a	1.70a	3.79a	4.72a	0.97a	2.70a
	+	27.79a	4.15a	19.52a	23.19c	5.12b	13.57b	4.82a	1.17ac	2.85a
Pennncross	—	42.88b	6.34b	21.48ab	10.02b	2.20a	4.01a	7.18c	1.45bc	4.19b
	+	57.27c	8.61b	27.73b	25.96c	5.39b	16.81c	6.89b	1.56b	4.27b
Cultivar(A)		**	**	**	**	*	**	**	**	**
Modifiers(B)		**	*	*	**	**	**	NS	*	NS
A×B		*	NS	NS	*	NS	**	NS	NS	NS

a) Matrix modifiers on potassium concentration in the dew water is CaCO₃.
b) Matrix modifiers on calcium concentration in the dew water is LaCl₃.
c) Matrix modifiers on magnesium concentration in the dew water is LaCl₃.
d) Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.
e) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA. NS shows no significant effect.

Table 20 The relationship between four minerals' concentration and electric conductivity (EC) values in the late fall dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in 2005.

Cultivar	NO ₃ ⁻ (mg/L)			K (mg/L)			Ca (mg/L)			Mg (mg/L)		
	A regression equation	r	n	A regression equation	r	n	A regression equation	r	n	A regression equation	r	n
CY-2	Y= 76.11X+9.97	0.94**	9	Y=112.96X+0.61	0.97**	9	Y= 86.53X+1.29	0.99**	9	Y= 17.52X+0.38	1.00**	9
Pennncross	Y= 86.24X+6.43	0.94**	9	Y=144.13X+0.07	0.99**	9	Y= 57.30X+3.68	0.94**	9	Y= 15.18X+0.96	0.96**	9

a) The dew water samples were collected on Oct.13th., Oct.28th. and Nov.10th. in 2005.
b) Y is the mineral concentration of dew on creeping bentgrass turf and X is the EC value of dew on creeping bentgrass turf.
c) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double).

Table 21 The relationship between four minerals' concentration and pH values in the late fall dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in 2005.

Cultivar	NO ₃ ⁻ (mg/L)			K (mg/L)			Ca (mg/L)			Mg (mg/L)		
	A regression equation	r	n	A regression equation	r	n	A regression equation	r	n	A regression equation	r	n
CY-2	Y=15.51X- 74.52	0.96**	9	Y=17.21X- 89.00	0.74*	9	Y=15.10X- 79.17	0.87**	9	Y=3.07X- 16.00	0.88**	9
Pennncross	Y=28.24X-153.46	0.93**	9	Y=41.43X-230.71	0.86**	9	Y=16.72X- 89.65	0.83**	9	Y=4.34X- 23.23	0.83**	9

a) The dew water samples were collected on Oct.13th., Oct.28th. and Nov.10th. in 2005.
b) Y is the mineral concentration of dew on creeping bentgrass turf and X is the pH value of dew on creeping bentgrass turf.
c) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double).

$r=0.96$ であり、水滴中の無機成分含量が増加するにつれて EC 値が増加した。

4) 「シーワイター」と「ペンクロス」の芝生表面に結露した水滴の pH と NO_3^- 濃度、干渉抑制剤を添加した K, Ca 及び Mg 濃度分析値との関係

芝生表面に結露した水滴の pH と NO_3^- 濃度、干渉抑制剤を添加して測定した無機成分濃度分析値との関係を Table 21 に示した。

「シーワイター」における pH と無機成分濃度との相関係数は、 NO_3^- 濃度で $r=0.96$ 、K 濃度では $r=0.74$ 、Ca 濃度では $r=0.87$ 及び Mg 濃度では $r=0.88$ であった。

「ペンクロス」における pH と無機成分濃度との相関係数は、 NO_3^- 濃度で $r=0.93$ と非常に高く、K 濃度では $r=0.86$ 、Ca 濃度では $r=0.83$ 及び Mg 濃度では $r=0.83$ であった。

第4節 考 察

夏季から晩秋季に生育衰退するクリーピングベントグラスの生理的要因を解明するために晩秋のクリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴に着目し、水滴の pH, EC 値, NO_3^- , K, Ca 及び Mg 濃度を測定した。その結果、これらの測定値は測定日ごとに変動が見られた。この変動については、施肥が影響したとも推察されるが、「シーワイター」と「ペンクロス」の品種による違い、すなわち、試験期間を通じて EC 値, K, Ca 及び Mg 濃度の全てにおいて「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向が認められたことが興味深い。植物体は、高温、低温、干ばつ障害、菌類や害虫による損傷、機械的障害、生理障害等外部からストレスを受けた場合、これら障害を受けなかったものと比べて葉からリン酸 (P), K, Ca, Mg, 窒素 (N) などが多量に溶出するとされる (木村, 1997b; Tukey ら, 1963)。「シーワイター」は「ペンクロス」よりも耐病性や耐暑性の高い品種であることが報告されている (加藤ら, 2010)。このことから「ペンクロス」より「シーワイター」の方が細胞膜の老化や破壊を起こしていなかったために芝生表面に結露した水滴中の NO_3^- , K, Ca 及び Mg の濃度が低かった、あるいは結露した水滴中への漏洩が起きにくかったものと考えられた。K は細胞の浸透圧の制御に関与しており、芝草に施用すると、暑さや寒さ、擦り切れなど、環境及び物理的ストレスの向上が認められるとされている (Beard, 1973b)。特に本研究においても 2 品種間で顕著に差が見られたのは K 濃度であり、耐暑性の高い品種は、耐暑性の低い品種よりも K の漏洩が起きにくく、観点を変えれば、耐暑性の高い品種は、耐暑性の低い品種よりも高温時においても細胞膜の浸

透圧の維持ができることが示唆された。また、耐暑性の高い品種あるいは耐暑性の低い品種それぞれに漏洩によって失われてゆく K を適正な時期に適正量補充してやれば夏季ならびにその後の晩秋季の生育の衰退が抑制できる可能性が示唆された。本報では結露水分中の無機成分濃度だけに注目して実験を実施したが、降雨、灌水などによっても芝生葉身から無機成分が溶出して失われていく可能性がある。これらすべての環境要因によって喪失していく無機成分量をより詳細に定量し、明らかにしてゆくことで、夏季ならびにその後の晩秋季の生育の衰退をより高精度に抑制できる可能性がある。

一般に原子吸光法において、P の存在により他の無機成分含量の測定では干渉抑制剤の添加によって分析精度を高めることができると報告されている (古賀ら, 2004; 越野, 1988)。本試験では、芝生表面に結露した水滴の採取量が少ないことが予期されていたため、K, Ca 及び Mg の原子吸光法による定量時に添加する干渉抑制剤の最適量の検討については、古賀ら (2004) の干渉抑制剤の低量化の報告を認識していたものの、困難と判断し、JIS 法で規定された通りの方法 (越野, 1988) を採用し、K 濃度の測定には濃塩酸に炭酸カルシウムを溶解し、塩酸濃度 0.1M, Ca 濃度 500mg/L の溶液、また、Ca 及び Mg 濃度の測定には濃塩酸に塩化ランタンを溶解し、塩酸濃度は 0.5M, ランタン濃度 2,000mg/L の溶液を添加した。これらの干渉抑制剤を添加した場合としない場合とを比べると、K, Ca 及び Mg 全てにおいて測定値が上る効果が見られたが、特に K と Ca で顕著であった。Mg については古賀ら (2004) の報告の指摘にあるように Ca 濃度 > Mg 濃度である場合、Mg 自体が Ca の妨害物質となっていること、Mg の濃度測定値には誤差が生じやすいこと、また、干渉抑制剤には塩化ストロンチウムなどを使用する報告 (長田ら, 1968) も検討されていることを鑑みると、Mg の濃度測定をより正確に行うためには EDTA 法も同時に行って再考が必要と思われた。芝生表面に結露した水滴中の K, Ca, Mg の定量時にある程度信頼度の高い測定値を得るためには適切な種類の干渉抑制剤の適正量添加は必須と考えられる。しかし、本試験の結果から、耐暑性の高い品種と低い品種では芝生表面に結露した水滴中の K の濃度に顕著な差が認められたことから、少なくとも K の定量のみ正確に行うことができれば、芝の高温による衰退状況がおおよそ推察できる可能性が示唆された。芝草の栄養状態や生理状態については迅速な診断が求められることがある。一方、高温期には芝生表面に結露した水滴量が分析に必要な最低量より少ないこともある。このような場合、無機成分の原子吸光分析に替わりうる判断基準が必要となる。芝生表面に結露した水滴の EC 値及び pH と NO_3^- ,

干渉抑制剤を添加して分析した K, Ca, Mg の値との相関は高く、EC 値及び pH には NO_3^- 、K, Ca 及び Mg 濃度が影響していることが示された。このため、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び pH を定期的に計測するだけで、芝の栄養状態や生理状態を間接的に判断できる基準になると考えられた。

第5節 摘 要

クリーピングベントグラスの芝生表面に晩秋に結露した水滴の無機成分の原子吸光法による測定時の干渉抑制剤の添加効果が確認された。K 濃度の測定では、干渉抑制剤として炭酸カルシウムの添加が無添加に比べて高い値

となる傾向が認められた。Ca 濃度の測定においては、干渉抑制剤として塩化ランタンの添加が無添加に比べて有意に高い値を示した。しかし、Mg 濃度の測定においては、干渉抑制剤として塩化ランタンを添加しても測定精度の明確な向上は認められなかった。晩秋に「シーワイター」の芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度は、「ペンクロス」に比べて低いことが示された。EC 値と干渉抑制剤を添加して測定した K, Ca, Mg の値との相関は非常に高かった。以上により、晩秋季に芝生表面に結露した水滴を用いた無機成分の分析は、クリーピングベントグラス品種の夏季生育の良否を判断する手法として有効であることが示唆された。

第Ⅴ章 病害と殺菌剤処理の有無がクリーピングベントグラス 品種「シーワイター」の芝生表面に結露した水滴の 無機成分に与える影響について

第1節 はじめに

春から晩秋季にかけて、クリーピングベントグラスの芝生表面には、結露した水滴が付着する。Kim ら (1986) は、牧草葉上に結露した水滴には雨滴と比べてカリウム (K) が著しく高濃度に含まれていることを報告し、葉からの K の溶出を明らかにした。このことから、芝生表面に結露した水滴には、葉身表面から溶出した多種多量の無機成分が含まれていることが推定される。

雨、露、霧などによって植物の葉や茎などから物質が溶出する現象はリーチングと呼ばれている (木村, 1997a ; Tukey , 1970) 。雨、露、霧によって植物体から溶出する物質は多様で、植物体中に存在する無機物質の主要元素、微量元素及び有機物質の糖、ペクチン質、アルコール、アミノ酸、有機酸なども溶出する (木村, 1997a ; Tukey , 1966) 。また、高温、低温、干ばつ、微生物、害虫及び機械的、生理的原因による障害を受けた葉は、健全葉よりも雨、露、霧への溶出量が増大するとされる (木村, 1997b ; Tukey ら, 1963 ; Tukey, 1966 ; Tukey, 1970) 。さらに、物質の溶出程度には、植物の種類、品種による違い、それと葉内の栄養状態により違いがあるとされ (木村, 1997a ; Tukey ら, 1958 ; Tukey ら, 1964) , 第Ⅲ章、Ⅳ章で検討したようにクリーピングベントグラスでは葉身中の無機成分含有率には品種間差があり、芝生表面に結露した水滴の EC 値の測定と無機成分の分析は、クリーピングベントグラス品種の夏季生育の良否を判断する手法として有効であることが明らかになっている (加藤ら, 2009 ; 安藤ら, 2012) 。Dernoeden ら (2008) は、クリーピングベントグラスについて、殺菌剤を処理すると夏季における生育衰退を回避できることを報告しており、生育衰退には、高温や病害による障害が密接に関与していると考えられる。クリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴の無機成分に由来する EC 値にも品種間差があり、殺菌剤処理の有無による差もあると考えられる。結露した水滴の EC 値あるいは無機成分濃度を指標として、クリーピングベントグラスグリーンの生育衰退の現状を客観的に評価する方法の確立はその対策の一助になると考えられる。

クリーピングベントグラス品種「シーワイター」は、対照品種「ペンクロス」に比べて冬季の芝生面の葉色が均一な緑であるとともに、耐暑性、ダラースポット病やブラウ

ンパッチに対する耐病性が高い等の特性がある (加藤ら, 2010) 。本章では、「ペンクロス」を対照に用い「シーワイター」の芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度について、品種間差及び殺菌剤処理の有無による違いを検討した。

第2節 材料及び方法

1) 供試品種

供試品種として、クリーピングベントグラスの 2 品種「シーワイター」及び「ペンクロス」を用いた。2001 年 10 月 12 日に、千葉県農業総合研究センター (現千葉県農林総合研究センター) 内の USGA 工法に準じて造成されたサンドグリーンに 2×2m の区画を設け、10 g/m² 播種した。試験は 3 反復で行った。各品種の区画内に、殺菌剤を処理しない殺菌剤無処理区 (1×2m) と殺菌剤を処理する殺菌剤処理区 (1×1m) を設定した。

2) 芝生の管理

殺菌剤処理区には、2004 年はアゾキシストロビン剤、イミノクタジン酢酸塩剤、イプロジオン剤、プロピコナゾール・メプロニル剤のいずれかを、2005 年はアゾキシストロビン剤、プロピコナゾール・メプロニル剤のいずれかを、2006～2008 年はプロピコナゾール・メプロニル剤を適用濃度で調査期間中の 5～10 月に月 1～2 回の頻度で散布した。また、試験期間中、害虫の発生を防ぐため、試験区全面にフェニトロチオン乳剤を適用濃度で適宜散布した。

芝生形成後、化成肥料 (N : P₂O₅ : K₂O=15 : 8 : 17) を窒素成分で 1 か月当たり 0.5～2g/m² 施用し、1 年間の合計を 2004 年は 16g/m²、2005 年及び 2008 年は 17g/m² とした。調査期間中の 2004 年、2005 年及び 2008 年の 5～11 月までは、同肥料を窒素成分で 1 か月当たり 1～2g/m² とし、2004 年は合計 10g/m²、2005 年及び 2008 年は合計 11g/m² 施用した。刈り込みは、刈り高 5mm で週 5 回行った。

3) 発病調査

ダラースポット病のパッチ数は、コドラード法により調査した。すなわち、試験区内に 0.5×0.5m の正方形の木枠を各 1 区 1 ヶ所に設置し、木枠内にあるダラースポット病のパッチ数を目視によって計数した。

ブラウンパッチ発病面積率は、目視により試験区全面積

に対するブラウンパッチ発病面積の百分率で表した。

4) 芝生表面に結露した水滴の無機成分の分析

2004 年, 2005 年の 6~11 月の 7:30~8:30 に芝生表面に結露した水滴 (Photo. 6) を脱脂綿で吸水後, ろ紙 (No.1) で濾過し 50mL 遠沈管に回収した。この際, 芝生表面の結露した水滴だけを採るために土壌と接触しないよう注意を払った。回収は, 2004 年は合計 12 回, 2005 年は合計 14 回行った。なお, 純水に脱脂綿を浸した液体の EC 値は 0.004ms/cm であったので, 本方法が芝生の表面に結露した水滴の EC 値 (0.1~1.0ms/cm) に与える影響はほとんどないと判断した。また, 芝生表面に結露した水滴の EC 値には, 塵や大気由来の無機塩類の影響もあると考えられたので, 2008 年 9 月 23 日, 10 月 10 日, 16 日に, 2004 年, 2005 年と同一圃場のペンクロススの芝生表面に結露した水滴と試験圃場に隣接して設置したプラスチックバット表面に結露した水滴を脱脂綿で吸水して回収し, EC 値を測定した。測定は 3 反復で行った。EC 値の測定後, 2004 年のサンプルについては, 硝酸態窒素 (NO_3^-), 2005 年のサンプルについては, K, カルシウム (Ca), マグネシウム (Mg) の各濃度を測定した。 NO_3^- 濃度は硝酸イオンメーター, その他の無機成分は安藤ら (2012) の方法によって測定した。

気温及び湿度は, 千葉県農林総合研究センターの気象観測装置の測定値を採用した。なお, 本試験で用いた気温及び湿度の値は, いずれも芝生表面に結露した水滴の回収前日 19:00~回収当日 7:00 までに 1 時間間隔で測定した値の平均値を用いた。

5) 芝生茎葉部の無機成分の分析

2005 年 7~9 月に刈高 5mm に設定したグリーンモアを用い, 葉身をほぼ 3 週間に 1 回の頻度で刈り取った後, 70℃で風乾した試料を植物体の成分分析に供した。無機成分の K, Ca, Mg 含量の分析は, 450℃で灰化後 1mol/L 塩酸で抽出し, 原子吸光法 (作物分析法委員会, 1975) によって測定した。

第 3 節 結 果

1) ダラースポット病の発生の推移

2004 年及び 2005 年のダラースポット病のパッチ数の推移を Fig. 8 に示した。

ダラースポット病の発生は, 2004 年は 7 月 29 日から 11 月 1 日まで, 2005 年は 7 月 8 日から 10 月 28 日まで認められ, 多発生時期や発生数は年により異なった。

ダラースポット病のパッチ数は, 殺菌剤無処理区では, 2004 年は 7 月 29 日から 11 月 1 日まで, 2005 年は 7 月 8 日から 10 月 28 日まで「シーワイター」が「ペンクロ

ス」に比べて低く推移する傾向がみられ, 2004 年 9 月 18 日, 11 月 1 日, 2005 年 8 月 23 日, 9 月 13 日, 10 月 28 日に有意差が認められた (Photo. 7)。

殺菌剤処理区では, 「シーワイター」, 「ペンクロス」の両品種とも発生数は極わずかで品種間に差はみられなかった (Photo. 7)。

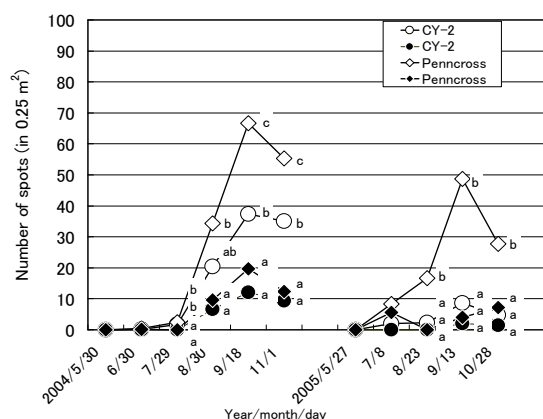


Fig. 8 Seasonal changes in number of dollar spot disease of creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in 2004 and 2005.
○,◇ ; non fungicide treated condition
●,◆ ; fungicide treated condition
Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

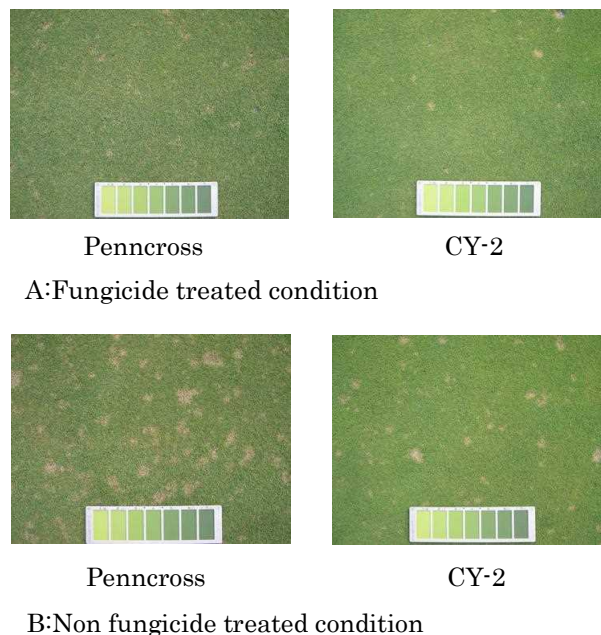


Photo. 7 Turf quality of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in fungicide and non fungicide treated condition in Sep. 18, 2004.

2) ブラウンパッチの発生の推移

2004 年及び 2005 年のブラウンパッチの発病面積率の推移を Fig. 9 に示した。

ブラウンパッチの発生は、2004 年は 6 月 30 日から 9 月 18 日、2005 年は 7 月 8 日から 8 月 13 日に認められた。

ブラウンパッチの発病面積率は、殺菌剤無処理区では、2004 年は 6 月 30 日から 7 月 29 日まで、2005 年は 7 月 8 日から 8 月 23 日まで「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向がみられ、2004 年 7 月 29 日、2005 年 7 月 8 日、8 月 23 日に有意差が認められた。

殺菌剤処理区では、2004 年 6 月 30 日を除き「シーワイター」、「ペンクロス」の両品種とも発生は極わずかで品種間に差はみられなかった。

3) 芝生表面に結露した水滴の EC 値の推移

2004 年と 2005 年の各試験区の芝生表面に結露した水滴の EC 値の推移を Fig. 10 に示した。

殺菌剤無処理区では、2004 年は 6 月 28 日から 10 月 29 日まで、2005 年は 8 月 18 日を除き 6 月 27 日から 10 月

13 日まで「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向がみられた。

殺菌剤処理区も殺菌剤無処理区とほぼ同じ傾向で推移し、2004 年は 7 月 12 日を除き 6 月 28 日から 10 月 7 日まで、2005 年は 8 月 10 日、8 月 18 日を除き 6 月 27 日から 10 月 7 日まで、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向がみられた。また、品種内の殺菌剤処理の有無と EC 値を比較すると、2004 年は、「シーワイター」と「ペンクロス」は共に殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて高く推移する傾向がみられた。2005 年は、「シーワイター」では 9 月 12 日から 10 月 13 日、「ペンクロス」では 8 月 18 日を除く 7 月 8 日から 10 月 13 日に、殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて高く推移する傾向がみられた。

2008 年 9 月 23 日、10 月 10 日、16 日に本試験と同一圃場内の「ペンクロス」の芝生表面に結露した水滴の EC 値と、試験圃場に隣接して設置したプラスチックバット表面に結露した水滴の EC 値を Table 22 に示した。

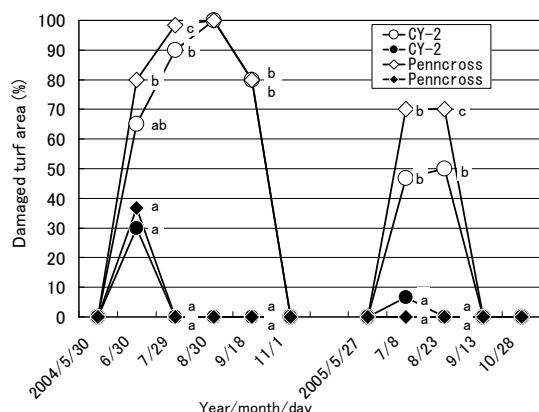


Fig.9 Seasonal changes in percent plot area of brown patch of creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' in 2004 and 2005.

○,◇;non fungicide treated condition
●,◆;fungicide treated condition
Means in a column followed by the same letter are not significantly different at 5% according to Tukey's multiple range test.

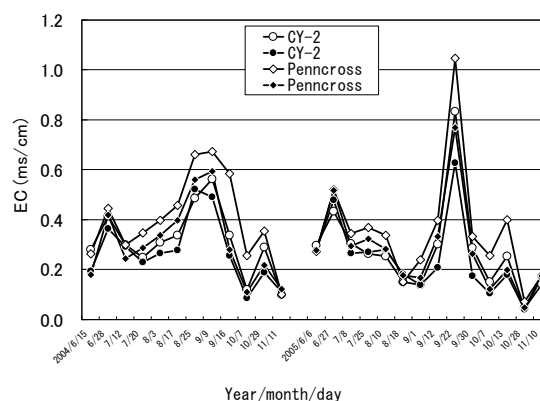


Fig. 10 Electric conductivity(EC) in dew on two Creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' turf in 2004 and 2005.

○,◇;non fungicide treated condition
●,◆;fungicide treated condition

Table 22 Electric conductivity (EC) value of dew water on the turf surface in creeping bentgrass cultivar 'Pennncross' and plastic tray in 2008.

Collection	EC (ms/cm)		
	Sep. 23	Oct. 10	Oct. 16
Turf	0.14	0.20	0.12
Tray	0.04	0.05	0.03
t test ^{a)}	**	*	**

a) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by t test.

芝生表面に結露した水滴の EC 値は、0.12～0.20ms/cm、プラスチックバット表面の EC 値は、0.03～0.05ms/cm で推移し、芝生表面に結露した水滴の EC 値はプラスチックバット表面に結露した水滴の EC 値に比べて有意に高かった。

4) 芝生表面に結露した水滴の EC 値と湿度、気温との関係

2004 年と 2005 年の各試験区の芝生表面に結露した水滴の EC 値について、湿度と気温との関係を Table 23 に示した。

EC 値と湿度との一次回帰式には、2004 年と 2005 年のいずれも有意に高い負の相関があった。EC 値と気温との間には両年とも有意な相関は認められなかった。

5) 芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度

ダラスポット病のパッチ数及びブラウンパッチの発病面積率に明らかな試験区間差がみられた 2005 年 8 月 10 日、9 月 12 日、10 月 7 日の芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度を Table 24 に示した。

K 濃度は、殺菌剤無処理区では 9 月 12 日は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて高い傾向がみられたが、8 月 10 日は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向があり、10 月 7 日は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった。殺菌剤処理区では品種間に統計的有意差はなかったが、9 月 12 日と 10 月 7 日は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。同一品種内の殺菌剤処理の有無における濃度は、供試 2 品種とも全調査日で殺菌剤無処理区が殺菌剤処

理区よりも高い傾向であり、「シーワイター」では 9 月 12 日に、「ペンクロス」では 8 月 10 日、10 月 7 日に有意な差があった。

Ca 濃度は、殺菌剤無処理区では、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ、8 月 10 日、10 月 7 日には有意な差があった。殺菌剤処理区では統計的有意差はなかったが、全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。同一品種内の殺菌剤処理の有無における濃度は、「シーワイター」では、8 月 10 日には殺菌剤処理区が有意に高かったが、9 月 12 日、10 月 7 日には殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区よりも高い傾向がみられた。「ペンクロス」では、全ての調査日で、殺菌剤無処理区で高い傾向がみられ、10 月 7 日に有意な差があった。

Mg 濃度は、殺菌剤無処理区では、全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった。殺菌剤処理区では統計的有意差はなかったが、全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。同一品種内の殺菌剤処理の有無における濃度は、「シーワイター」では、8 月 10 日は殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて低い傾向がみられたが、9 月 12 日、10 月 7 日は殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて高い傾向があり、10 月 7 日には有意な差があった。「ペンクロス」では、全ての調査日で殺菌剤処理区が殺菌剤処理区よりも高い傾向があり、10 月 7 日には有意な差があった。

Table 23 The relationship between electric conductivity (EC) value and weather factor of dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross'.

Year	Cultivar	Fungicide application None(-) Treatment(+)	Humidity(%) ^{a)}			Temperature(°C) ^{b)}		
			A regression equation ^{c)}	n	r	A regression equation ^{d)}	n	r
2004	CY-2	—	Y= -0.026X+2.657	12	-0.77 ^{**}	Y= 0.008X+0.169	12	0.32
		+	Y= -0.026X+2.623	12	-0.76 ^{**}	Y= 0.012X+0.052	12	0.48
	Penncross	—	Y= -0.029X+2.989	12	-0.65 [*]	Y= 0.010X+0.212	12	0.32
		+	Y= -0.031X+3.109	12	-0.77 ^{**}	Y= 0.015X+0.037	12	0.51
2005	CY-2	—	Y= -0.038X+3.816	14	-0.73 ^{**}	Y= 0.012X+0.053	14	0.34
		+	Y= -0.033X+3.308	14	-0.78 ^{**}	Y= 0.013X+0.003	14	0.46
	Penncross	—	Y= -0.046X+4.633	14	-0.71 ^{**}	Y= 0.015X+0.077	14	0.35
		+	Y= -0.037X+3.738	14	-0.74 ^{**}	Y= 0.015X+0.008	14	0.44

a) Humidity is an average value during 12 hours from 19:00 to 7:00.

b) Temperature is an average value during 12 hours from 19:00 to 7:00.

c) Y is the EC value of the dew on creeping bentgrass turf and X is the humidity of the atmosphere.

d) Y is the EC value of the dew on creeping bentgrass turf and X is the temperature of the atmosphere.

e) The relationship between EC value of dew, humidity and temperature was calculated with the date of Jun. 15 through Nov. 11 in 2004 and Jun. 6 through Nov. 10 in 2005.

f) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double).

6) 葉身の無機成分含量

ダラースポット病のパッチ数及びブラウンパッチの発病面積率に明らかな試験区間差が確認された 2005 年 8 月 8 日, 9 月 12 日, 10 月 7 日の葉身の無機成分含量を Table 25 に示した.

K 含量は, 殺菌剤無処理区では, 全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に多かった. 殺菌剤処理区では統計的有意差はなかったが, いずれの調査日でも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて多い傾向がみられた. 同一品種内における殺菌剤処理の有無では, 「シーワイター」では殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて 8 月 8 日及び 9 月 12 日に多い傾向があり, 10 月 7 日は有意に多かった. 「ペンクロス」では, 8 月 8 日は殺菌剤無処理区が有意に低く, 9 月 12 日に殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて少ない傾向がみられ, 10 月 7 日は有意に多かった.

Ca 含量は, 殺菌剤無処理区では, 全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向があり, 8 月 8 日に有意な差があった. 殺菌剤処理区においても, 全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向がみられ, 10 月 7 日に有意な差があった. 同一品種内の殺菌剤処理の有無における含量の差は, 「シーワイター」, 「ペンクロス」のいずれも殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて少ない傾向がみられ, 「シーワイター」では 8 月 8 日, 「ペンクロス」では 10 月 7 日に有意な差があった.

Mg 含量は, 殺菌剤無処理区では全ての調査日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向が認められ, 8 月 8 日は有意に少なかった. 殺菌剤処理区においても, いずれの調査日も「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向がみられ, 10 月 7 日には有意差があった.

Table 24 Mineral nutrient concentrations of dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' in 2005.

Cultivar	Fungicide application None(-) Treated(+)	K (mg/L)			Ca (mg/L)			Mg (mg/L)		
		Aug.10	Sep.12	Oct.7	Aug.10	Sep.12	Oct.7	Aug.10	Sep.12	Oct.7
CY-2	-	14.77ab	29.61b	10.40a	17.76a	13.25ab	7.85a	4.52a	3.60a	2.84b
	+	10.67ab	9.80a	3.54a	30.15b	11.59a	6.35a	6.00ab	3.03a	1.93a
Penncross	-	15.80b	29.12b	20.71b	35.79b	17.44b	10.47b	7.98b	5.75b	4.47c
	+	9.43a	15.33ab	4.07a	33.12b	15.92ab	7.67a	6.12ab	4.45ab	2.36ab
Cultivar (A)		NS	NS	*	**	**	**	**	**	**
Fungicide application (B)		*	*	**	NS	NS	**	NS	NS	**
A×B		NS	NS	*	**	NS	NS	*	NS	*

a) Means in a column followed by the different letter significantly different at P=0.05 according to Tukey's multiple range test.

b) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA.

NS shows no significant effect.

Table 25 Minerals nutrient concentration of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' leaf tissue in 2005.

Cultivar	Fungicide application None(-) Treated(+)	K (g/kg dry wt of tissue)			Ca (g/kg dry wt of tissue)			Mg (g/kg dry wt of tissue)		
		Aug.8	Sep.12	Oct.7	Aug.8	Sep.12	Oct.7	Aug.8	Sep.12	Oct.7
CY-2	-	23.81b	23.80b	27.92c	5.28a	4.83a	3.99a	2.11a	1.87a	2.03b
	+	23.77b	23.07ab	24.86a	7.46b	5.52ab	4.60a	2.66c	2.17ab	1.82a
Penncross	-	21.97a	21.83a	26.40b	7.03b	5.54ab	4.32a	2.34b	2.43ab	2.17b
	+	23.52b	21.91ab	23.99a	8.27b	6.31b	5.39b	2.74c	2.63b	2.08b
Cultivar(A)		**	**	**	**	**	**	*	**	**
Fungicide application(B)		**	NS	**	**	**	**	**	NS	**
A×B		**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

a) Means in a column followed by the different letter significantly different at P=0.05 according to Tukey's multiple range test.

b) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA.

NS shows no significant effect.

同一品種内の殺菌剤処理の有無による含量の差は、「シーワイター」、「ペンクロス」はいずれも8月8日、9月12日に殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて少ない傾向がみられたが、10月7日は、「シーワイター」、「ペンクロス」のいずれも殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて有意に多かった。

7) 芝生表面に結露した水滴のEC値と無機成分の NO_3^- , K, Ca, Mg, 濃度との相関

芝生表面に結露した水滴のEC値と各無機成分濃度との関係をTable 26に示した。

芝生表面に結露した水滴のEC値と芝生表面に結露した水滴中の無機成分 NO_3^- , K, Ca, Mgの各濃度の一次回帰には、いずれも有意な正の相関が認められた。

8) 芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度と葉身の無機成分含量との相関

芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度の試験区間の違いについて、葉身の無機成分含量の関与の有無を調べるため、芝生表面に結露した水滴中の無機成分濃度と葉身の無機成分含量との関係をTable 27に示した。

芝生表面に結露した水滴中の無機成分濃度と葉身の無機成分含量との一次回帰において、Kではいずれも有意な相関は認められなかったが、Ca及びMgでは「シーワイター」の殺菌剤無処理区のMgを除く全ての試験区で有意な正の相関が認められた。

第4節 考察

本試験において、病害の発生は、殺菌剤無処理区内では「シーワイター」よりも「ペンクロス」で、同一品種内では殺菌剤処理区よりも殺菌剤無処理区で多く認められた。また、芝生表面に結露した水滴のEC値の推移は、2004年と2005年の両年とも殺菌剤無処理区と殺菌剤処理区共に「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向を示し、同一品種内においては殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区に比べて高く推移する傾向がみられた。芝生表面に結露した水滴中のK, Ca, Mg各含量についても2005年8月10日の「シーワイター」のCa, Mg含量以外ではほぼ同様な傾向が認められた。障害を受けた葉は健全葉よりも物質の溶出が増大するとされ、高温、低温、干ばつ障害や菌類、害虫による障害、機械的障害、生理障害を受けた葉からはN, リン(P), K, Ca, Mgなどが多量に溶出するとされる(木村, 1997b; Tukeyら, 1963; Tukey, 1966; Tukey, 1970)。殺菌剤無処理区においてダラスポット病のパッチ数及びブラウンパッチの発病面積率が「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向を示し、芝生表面に結露した水滴中のCaやMg濃度は、

「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった。このことは、病気等による葉の損傷の大小と無機成分の溶出が密接に関係しており、ダラスポット病やブラウンパッチに対する耐病性程度に支配されている可能性が示唆された。

芝生表面に結露した水滴のEC値と NO_3^- , K, Ca及びMgの各含量との間に有意な正の相関が認められた。また、芝生表面に結露した水滴のCa, Mg濃度と葉身のCa, Mg含量との間には有意な正の相関が認められた。これらの結果から、芝生表面に結露した水滴のEC値は、葉身の無機成分含量の影響を受けることが示唆された。一方、Kについては芝生表面に結露した水滴中の濃度と葉身の含量との間に相関が認められなかった。Kは植物体内で水溶性の K^+ として移動しやすく、細胞内・組織内の代謝の活性化、pHの安定、浸透圧の調整など、重要な生理的役割を果たしている(山本, 1987)。Kのように葉身中に高濃度で存在し移動性が高い成分は、葉身中の含量以外の要因に依存していると考えられ、病害等により障害を受けた組織からの溶出のしやすさで水滴中の濃度が大きく変わると考えられた。

芝生表面に結露した水滴中の無機成分には葉身部から溶出した無機成分の他に、芝刈りによる葉身の切り口からの溢泌液の成分も含まれていると考えられる。穂積は(1968)、ポット栽培の水稻に硫化水素を添加して根に障害を与えると、溢泌液量及び溢泌液の無機成分濃度が低下することを報告している。また、馬ら(2005)は大豆の根を過湿処理すると溢泌液量及び溢泌液中の窒素(N)濃度が低下することを報告している。本試験で認められた殺菌剤無処理区と殺菌剤処理区の芝生表面に結露した水滴のEC値及び無機成分濃度は、いずれも殺菌剤無処理区で高い傾向が認められた。仮に、殺菌剤無処理区で根が病害の影響を受けていたとすると芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度は低いと考えられるが、本試験では逆に高い傾向を示した。これらのことから、芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度は、溢泌液中の無機成分よりも葉身表面から溶出した無機成分の影響が大きいと考えられた。

芝生表面に結露した水滴のEC値は、2004年と2005年では推移の傾向は異なった。このEC値の年度別変動に関して気象的要因の関与が考えられた。そこで、EC値と気温または湿度との相関を調べたところ、EC値と気温との間には2004年及び2005年とも有意な相関は認められなかったが、EC値と湿度との間には、両年とも有意な負の相関が認められた。また、芝生表面に結露した水滴のEC値には、塵や大気由来の無機成分も影響していると考えられた。Muselliら(2006)は、フランスのコルシカ島においてポリシート表面に結露した水滴のEC値が0.04～

Table 26 The relationship between electric conductivity (EC) value and mineral concentration of dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' in 2004 and 2005.

Cultivar	Fungicide application None (-) Treated(+)	NO ₃ ⁻			K			Ca			Mg		
		A regression equation	n	r	A regression equation ^{b)}	n	r	A regression equation	n	r	A regression equation	n	r
CY-2	-	Y= 28.063X+7.006	11	0.90 ^{**}	Y= 45.626X+3.628	14	0.76 ^{**}	Y= 57.321X+4.718	14	0.91 ^{**}	Y= 16.667X+0.298	14	0.94 ^{**}
	+	Y= 30.884X+6.660	11	0.91 ^{**}	Y= 34.865X+2.180	14	0.78 ^{**}	Y= 72.571X+2.290	14	0.92 ^{**}	Y= 16.503X+0.357	14	0.92 ^{**}
Penncross	-	Y= 19.560X+9.267	11	0.77 ^{**}	Y= 79.004X -4.320	14	0.81 ^{**}	Y= 69.068X+2.369	14	0.93 ^{**}	Y= 20.647X -0.585	14	0.97 ^{**}
	+	Y= 28.914X+6.531	11	0.89 ^{**}	Y= 31.594X+2.950	14	0.70 ^{**}	Y= 76.385X+1.970	14	0.90 ^{**}	Y= 16.140X+0.443	14	0.94 ^{**}

a) The relationship between EC value and NO₃⁻ concentration of dew was calculated with the date of Jun. 15 through Nov. 11 in 2004.

The relationship between EC value and concentrations of K, Ca and Mg in dew was calculated with the date of Jun. 6 through Nov.10 in 2005.

b) Y is the mineral concentration of dew on creeping bentgrass turf and X is the EC value of dew on creeping bentgrass turf.

c) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double).

Table 27 The relationship between mineral concentration of dew water on the turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' and mineral concentration of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' leaf tissue in 2005.

Cultivar	Fungicide application None (-) Treatment(+)	K			Ca			Mg		
		A regression equation ^{b)}	n	r	A regression equation	n	r	A regression equation	n	r
CY-2	-	Y= 0.0016X+25.352	14	0.01	Y= 0.0508X+3.921	14	0.66 [*]	Y= 0.0260X+1.885	14	0.52
	+	Y= 0.1867X+22.838	15	0.34	Y= 0.0775X+4.499	15	0.82 ^{**}	Y= 0.0711X+1.872	15	0.57 [*]
Penncross	-	Y= -0.0506X+24.860	15	-0.16	Y= 0.0860X+3.658	15	0.87 ^{**}	Y= 0.0505X+1.945	15	0.55 [*]
	+	Y= -0.0388X+23.769	15	-0.10	Y= 0.0979X+4.686	15	0.91 ^{**}	Y= 0.1154X+1.932	15	0.79 ^{**}

a) The relationship between K, Ca and Mg concentration of dew and K, Ca and Mg concentration of tissue was calculated with the date of Jul. 8th through Oct. 28 in 2005.

b) Y is the mineral concentration of creeping bentgrass tissue and X is the mineral concentration of dew on creeping bentgrass turf.

c) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double).

0.34ms/cm で推移したことを報告し、Schroder ら (1989) は、コロラド州デンバーにおいてポリシート表面に結露した水滴の EC 値が 0.01~0.17ms/cm で推移したことを報告している。そこで、芝生表面に結露した水滴の EC 値と、試験圃場に隣接して設置したプラスチックバット表面に結露した水滴の EC 値とを比較したところ、プラスチックバット表面に結露した水滴の EC 値は 0.03~0.05ms/cm で推移し、芝生表面に結露した水滴の EC 値の 25~29% と低い値を示した。以上のことから、芝生の表面に結露した水滴の EC 値の時期別変動には、湿度が大きく影響し、塵及び大気由来の無機塩類はわずかな影響しかなかったことが示唆された。また、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度には、殺菌剤処理の有無及び品種間に常に一定の傾向が認められ、各調査日の殺菌剤処理の有無及び品種間の比較においては湿度や塵及び大気由来の無機成分の影響は小さいと考えられた。

以上のことから、クリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度は、クリーピングベントグラスの病害等によって被った障害の程度を簡易に客観的に評価する指標になると考えられた。

第5節 摘要

クリーピングベントグラス品種「ペンクロス」を対照に

「シーワイター」の殺菌剤無処理及び殺菌剤処理管理下における病害発生程度及び芝生表面に付着した水滴の EC 値、無機成分含量を調査した。その結果、殺菌剤無処理区では、殺菌剤処理区よりダラースポット病のパッチ数は多く、ブラウンパッチの発病面積率は高く推移する傾向がみられた。また、「シーワイター」におけるダラースポット病のパッチ数は、「ペンクロス」よりも少ない傾向がみられた。殺菌剤無処理区の芝生表面に結露した水滴の EC 値は、殺菌剤処理区における EC 値より高く推移する傾向がみられた。また、「シーワイター」の EC 値は、「ペンクロス」の EC 値より低く推移する傾向がみられた。殺菌剤無処理区の芝生表面に結露した水滴の K, Ca, Mg 濃度はいずれも殺菌剤処理区より高く、「シーワイター」の芝生表面に結露した水滴の K, Ca, Mg 濃度は「ペンクロス」より低かった。これらの分析結果から、クリーピングベントグラスの芝生表面では、結露した水滴中へ葉から K, Ca, Mg が溶出し、その濃度には品種間差があり、病害発生による茎葉部の障害に伴い芝生表面に結露した水滴中へ無機物質が溶脱することが示唆された。

以上のことから、病害や殺菌剤の処理の有無がクリーピングベントグラスの芝生表面に結露する水滴の EC 値及び無機成分濃度に影響を与え、その結果として、水滴の EC 値及び無機成分濃度は、病害等によって被った障害の程度を簡易にかつ客観的に評価する指標になると考えられた。

第Ⅵ章 クリーピングベントグラス品種「シーワイツ」の 夏季の芝生品質と芝生表面に結露した水滴の EC 値 及び葉身からの電解質の溶出との関係

第1節 はじめに

クリーピングベントグラスの夏季の生育衰退に伴うグリーンの芝生品質の低下は、グリーンキーパーにとって大きな課題である。この夏季の生育衰退には高温、土壌水分の過多、病害の感染など複数の要因が関与していることが考えられるが (Carrow, 1996)、中でも高温が大きな要因と考えられている (Huang, 2004)。このため、日本では本草種の夏越しが難しいとされているが、耐暑性や耐病性の高い品種を使用することによって夏季に良好な芝生品質を維持でき、管理費の削減に役立つと考えられる。近年、夏季の生育衰退対策として耐暑性、耐病性など環境ストレスに強い新品種の育成が行われている (Bonos, 2005, Toubakariss ら, 2000 ; Warnke, 2003)。ゴルフ場では、これら新品種の導入が進められており、導入前にナーセリーで品種比較試験を行い、生育環境に適した耐暑性や耐病性の高い品種の選定が行われている。

夏から晩秋季にかけて、クリーピングベントグラスの芝生表面には、結露した水滴が付着する。雨、露、霧などによって植物の葉や茎などから無機成分などの物質が溶出する現象はリーチングと呼ばれている (木村, 1997a ; Tukey, 1970)。高温、低温、干ばつ、微生物、害虫及び機械的、生理的原因により損傷を受けた葉は、健全葉よりも雨、露、霧への物質の溶出量が増大するとされ (木村, 1997b ; Tukey ら, 1963 ; Tukey ら, 1958 ; Tukey, 1966 ; Tukey, 1970)、物質の溶出程度には、植物の種類、品種による違いや葉内の栄養状態により違いがあるとされる (木村, 1997a ; Tukey ら, 1958 ; Tukey ら, 1964)。

クリーピングベントグラス品種「シーワイツ」は、対照品種「ペンクロス」に比べて、耐暑性、ダラースポット病やブラウンパッチに対する耐病性が高い等の特性がある (加藤ら, 2010)。

本研究は「ペンクロス」を対照に「シーワイツ」を用い、芝生の生育状況と芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度について調査したところ、病害発生時に EC 値及び無機成分濃度が増加することを第Ⅴ章で報告した。

一方、葉身からの電解質の溶出割合 (Electrolyte leakage ; 以下 EL 値とする) は、葉身のオートクレーブ抽出液の EC 値に対する振とう抽出液の EC 値の百分率で示した値であり、環境ストレスに対する細胞膜の損傷の状態を

示す指標とされ (Huang ら, 2001 ; Huang, 2004 ; Jiang ら, 2001)、EL 値を用いて寒地型芝草の高温ストレスに対する耐性の評価が行われている (Jiang ら, 2001a)。

芝生表面に結露した水滴の EC 値や葉身の EL 値を用い夏季の生育衰退に対する耐性の評価を数値化できれば高品質の芝生を維持管理できる技術及び品種の育種や選定が容易になると考えられる。しかし、夏季の生育衰退期において、芝生状態におけるクリーピングベントグラス品種の夏季の品質の違いと芝生表面に結露した水滴の EC 値、葉身の EL 値及びそれらを構成する無機成分との関係については明らかになっていない。葉身からの EL 値を圃場条件で測定する場合、測定に供されるサンプルは刈高を一定にしたグリーンモアによって採取されるため、再伸長した上位葉の影響を常に受けると考えられる。一方、芝生表面に結露した水滴は、上位及びグリーンモアによって刈り取られない中位から下位の葉身から溶出した無機成分を含むと考えられる。

Tukey ら (1958) は、ペポカボチャ (*Cucurbita pepo* L.) において、葉身からの Ca のリーチング量は若い葉に比べて老化葉で多いことを報告しており、クリーピングベントグラスにおいても、芝生状態では若齢葉の割合の多い上位葉と老化葉の割合の多い中位葉では、損傷による葉身からの無機成分の溶出に差があるのではないかと考えられた。

そこで本章では、耐暑性及び耐病性の異なる「シーワイツ」と「ペンクロス」を用い、品種の違いが夏季の芝生品質、芝生表面に結露した水滴の EC 値と無機成分濃度、葉身の EL 値及び葉身の振とう、オートクレーブ抽出液の無機成分濃度に与える影響を葉位の違いに着目して調査し、これらの関係について検討した。

第2節 材料及び方法

実験 1. クリーピングベントグラス 2 品種の夏季の芝生品質と芝生表面に結露した水滴の EC 値及び葉身の EL 値の推移

1) 供試品種

供試品種として、クリーピングベントグラスの 2 品種、「シーワイツ」及び「ペンクロス」を用いた。2001 年 10 月 12 日に、千葉県農業総合研究センター (現千葉県農林総合研究センター) 内の USGA 工法に準じて造成され

たサンドグリーンに 2m×2m の区画を設け、それぞれの種子を 10g/m² 播種した。試験は 3 反復で行った。

2) 芝生の管理

2001 年に造成した圃場は、2008 年、2009 年及び 2010 年の 6～11 月に試験に供試し、試験期間中は試験区内(1m×2m)に殺菌剤を散布せずに管理した。ただし、試験期間中、害虫の発生を防ぐため、試験区全面にフェントロチオン乳剤を適用濃度で適宜散布した。芝生形成後、化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=15:8:17)を用いて窒素成分で 1 回当たり 0.5～1.5g/m² 施用し、試験年の 1 年間の合計を 2008 年、2009 年及び 2010 年はそれぞれ 17.0g/m²、16.5g/m²、18.5g/m²とした。また、試験期間中は、同肥料を窒素成分で 1 回当たり 0.5～1.5g/m²とし、2008 年は合計 8.0g/m²、2009 年は合計 7.5g/m²、2010 年は合計 9.0g/m² 施用した。刈り込みは、乗用 3 連グリーンモアを用いて刈り高 5mm で週 5 回行った。

3) 発病及び品質調査

試験区内には、ダラースポット病やブラウンパッチの発生が認められた。これらの病害は、芝生品質に影響を及ぼすため、品質評価時にダラースポット病及びブラウンパッチの発生状況を調査した。ダラースポット病のスポット数は、コドラート法により調査した。すなわち、試験区内に 0.5m 角の木枠を各 1 区 1 ヶ所に設置し、枠内にあるダラースポット病のスポット数を目視によって計数した。ブラウンパッチの発病面積率は、目視により試験区全面積に対するブラウンパッチ発病面積の百分率で表した。芝生品質は、目視にて茎密度、病害の発病程度、葉色などを、総合的に 1～9 の 9 段階の指数 (1=極不良, 9=極良, 6=ゴルフ場のパッティンググリーンとして許容される限界値) を用いて評価した (Huang 2004)。病害の発病程度及び芝生品質は月 1 回の頻度で調査した。

4) 芝生表面に結露した水滴の EC 値

2008 年、2009 年及び 2010 年の 6～11 月の 7:30～8:30 に月 1 回の頻度で、芝生表面に結露した水滴を脱脂綿で吸水後、ろ紙 (No. 1) で濾過し 50mℓ 遠沈管に回収し EC 値を測定した。採取時には、芝生表面に結露した水滴だけを採るために土壌と接触しないように行った。

5) 葉身の EL 値

EL 値は、Huang ら (2001) の方法に準じて測定した。すなわち、2008 年、2009 年及び 2010 年の 6～11 月に月 1 回の頻度で、刈高を 5mm に設定したグリーンモアを用いて葉身を採取し、試料 0.1 g を純水 20 mℓ を入れた 50 mℓ 遠沈管内で攪拌洗浄し排水後、同遠沈管に純水 20 mℓ を入れ -48 Kpa で 15 分間減圧処理した後、10℃暗黒下で 24 時間振とう抽出し EC 値を測定した。また、試料 0.1 g を前記と同様に純水で洗浄後、純水 20mℓ を入れた 50mℓ

遠沈管に入れ、121℃で 20 分間オートクレーブ抽出し EC 値を測定した。EL 値は、オートクレーブ抽出液の EC 値に対する振とう抽出液の EC 値の百分率で示した。

実験 2. クリーピングベントグラス 2 品種の異なる刈り高で採取した葉身からの無機成分の溶出

1) 供試品種

供試品種として、クリーピングベントグラスの 2 品種、「シーワイター」及び「ペンクロス」を用いた。2010 年 10 月 12 日に USGA 工法に準じて造成されたサンドグリーンに 2m×2m の区画を設け、それぞれの生種子を 10g/m² 播種した。試験は 3 反復で行った。

2) 芝生の管理

2010 年に造成した圃場は、2012 年の 8～9 月に試験に供試し、試験期間中は試験区内 (2m×2m) に殺菌剤を散布せずに管理した。ただし、試験期間中、害虫の発生を防ぐため、試験区全面にフェントロチオン乳剤を適用濃度で適宜散布した。芝生形成後、化成肥料 (N-P₂O₅-K₂O=15-8-17) を用いて窒素成分で 1 回当たり 0.5～1.5g/m² 施用し、試験年の 1 年間の合計を 17.0g/m²とした。試験期間中は合計 8.0g/m² 施用した。刈り込みは、乗用 3 連グリーンモアを用いて刈り高 5mm で週 5 回行った。

3) 発病及び品質調査

ダラースポット病及びブラウンパッチの発生状況は、試験 1 と同様に評価した。

芝生品質は、試験 1 と同様に評価した。

4) 芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分の分析

2012 年 8 月 20 日、9 月 26 日に試験 1 と同様に芝生表面に結露した水滴を回収し、EC 値を測定後、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) の各濃度を安藤ら (2012) の方法によって測定した。

5) 葉身の EL 値及び振とう、オートクレーブ抽出液の無機成分の分析

2012 年 8 月 20 日、9 月 26 日に異なる葉位の葉身を採取するため、グリーンモアを用いて、まず刈高 5mm、次いで 3.7 mm で葉身を採取し、検体の一部を試験 1 と同様に振とう及びオートクレーブ抽出液の EC 値を測定し EL 値を算出した。また、振とう及びオートクレーブ抽出液の K, Ca, Mg の各濃度を安藤ら (2012) の方法によって測定した。オートクレーブ抽出液の各無機成分濃度に対する振とう抽出液の各無機成分濃度の百分率を、KL, CaL 及び MgL 値とした。

6) 葉身の全炭素 (TC)、全窒素 (TN)、K, Ca 及び Mg の分析

前記 5) の刈高 5mm 及び 3.7 mm で採取した葉身について、採取した検体の一部を 70℃で風乾後、全炭素 (TC)、全窒素 (TN)、K, Ca 及び Mg を測定した。TC 及び TN

の分析は、乾式燃焼法（千葉県農林水産会議技術調整部会 土壌・肥料分科会，2005）によって，K，Ca 及び Mg は原子吸光法（作物分析法委員会 1975）によって測定した。

7) 葉身のマロンジアルデヒド (MDA) の定量

前記5) の刈高5mm及び3.7 mmで採取した葉身について，採取した検体の一部を-80℃で凍結保存し，MDAの定量に供試した。MDAは，TBARS法によって定量した。すなわち，試料0.1 gにつき1.6 mlの50 mMリン酸ナトリウム緩衝液 (pH 7.0) を加えて磨砕し，遠心分離 (4℃, 15,000 rpm : 20分間) して得られた上清をMDA分析キット (Northwest Life Science Specialties) を用いて行った。本キットは，サンプル中のMDAをチオバルビツール酸 (TBA) と反応させることで MDA-TBA₂ 付加体を形成させ吸光度 (A₅₃₂) を測定しMDAを検出するものである。

第3節 結 果

実験 1. クリーピングベントグラス 2 品種の夏季の芝生品質と芝生表面に結露した水滴の EC 値及び葉身の EL 値の推移

1) ダラースポット病の発生の推移

2008 年，2009 年及び 2010 年の各試験区のダラースポット病のスポット数の推移を Fig. 11 に示した。

ダラースポット病の発生は，2008 年，2009 年は 7～10 月まで，2010 年は 8～11 月まで認められたが，多発時期や発生程度は年により異なった。ダラースポット病のパッチ数は，2008 年は 7 月 23 日及び 10 月 15 日で，2009 年は 7 月 11 日～9 月 14 日まで，2010 年は 8 月 26 日～11 月 3 日まで「シーワイツ」が「ペンクロス」に比べて少なく推移する傾向がみられ，2009 年 7 月 29 日，2010 年 11 月 3 日に有意差が認められた。

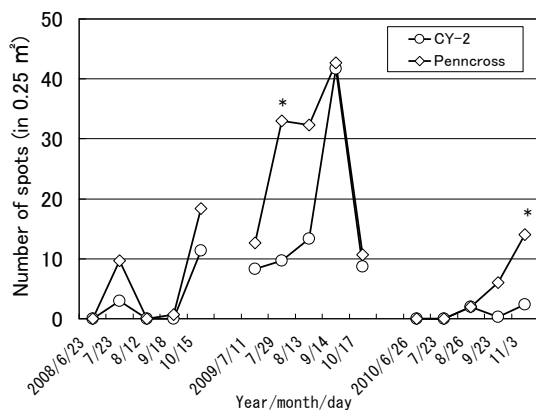


Fig. 11 Seasonal changes in the number of spots caused by dollar spot disease on the turf of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross'. Asterisks show significant differences between the cultivars at 5% by *t* test.

2) ブラウンパッチの発生の推移

2008 年，2009 年及び 2010 年の各試験区のブラウンパッチの発病面積率の推移を Fig. 12 に示した。

ブラウンパッチの発生は 2008 年，2009 年及び 2010 年のいずれも 7 月から 9 月に認められた。ブラウンパッチの発病面積率は，2008 年は 7 月 23 日から 9 月 18 日まで，2009 年は 7 月 11 日から 7 月 29 日まで，2010 年は 7 月 23 日から 9 月 23 日まで「シーワイツ」が「ペンクロス」に比べ低く推移する傾向がみられた。

3) 芝生品質の推移

2008 年，2009 年及び 2010 年の各試験区の芝生品質の推移を Fig. 13 に示した。

芝生品質は，調査年のいずれも「シーワイツ」が「ペンクロス」に比べて常に高く推移する傾向がみられ，2008 年は 7 月 23 日，8 月 12 日，2009 年は 9 月 14 日以外の全調査日，2010 年は全調査日で有意差が認められた (Photo. 8)。

4) 芝生表面に結露した水滴の EC 値の推移

2008 年，2009 年及び 2010 年の各試験区の芝生表面に結露した水滴の EC 値の推移を Fig. 14 に示した。

調査年のいずれも「シーワイツ」が「ペンクロス」に比べて常に低く推移する傾向がみられ，2008 年は 8 月 20 日，10 月 14 日，2009 年は 7 月 29 日，2010 年は 7 月 22 日に有意差が認められた。

5) 葉身の EL 値の推移

2008 年，2009 年及び 2010 年の各試験区の葉身の EL 値の推移を Fig. 15 に示した。

葉身の EL 値は，調査年のいずれも 8 月または 9 月まで上昇しその後低下した。2008 年は「シーワイツ」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向がみられ，9 月 17 日に有意差が認められた。2009 年，2010 年は品種間に明確な傾向はみられなかった。

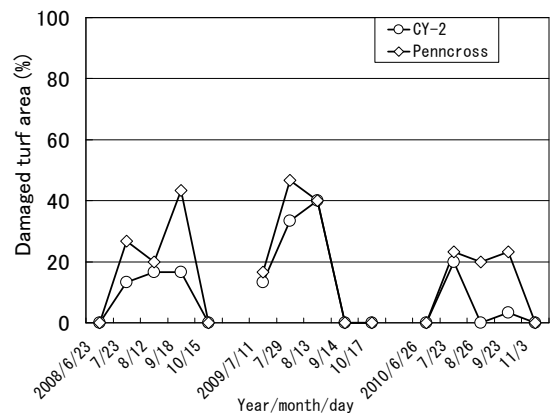


Fig. 12 Seasonal changes in the area damaged by brown patch on the turf of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross'.

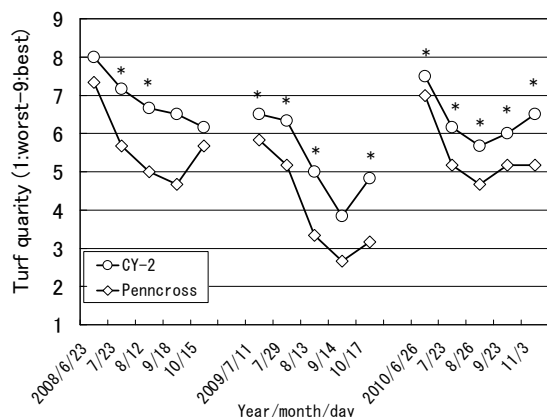


Fig.13 Seasonal changes in the turf quality of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross'. Asterisks show significant difference between the cultivars at 5% by Mann-Whitney *U* test.

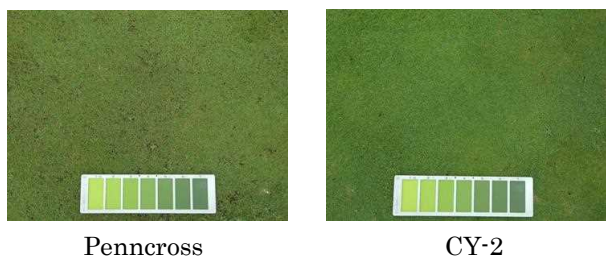


Photo. 8 Turf quality of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' in Aug. 26, 2008.

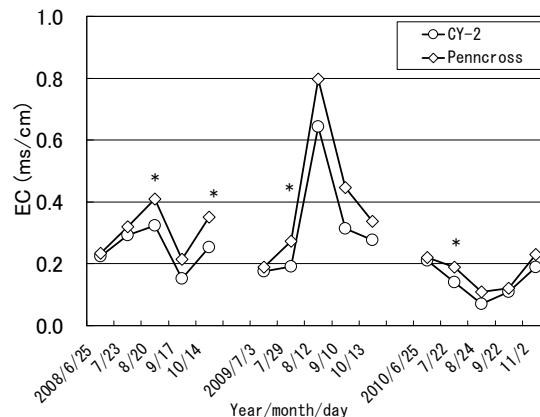


Fig.14 Seasonal changes in the electric conductivity (EC) of dew collected on the turf of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross'. Asterisks show significant differences between the cultivars at 5% by *t* test.

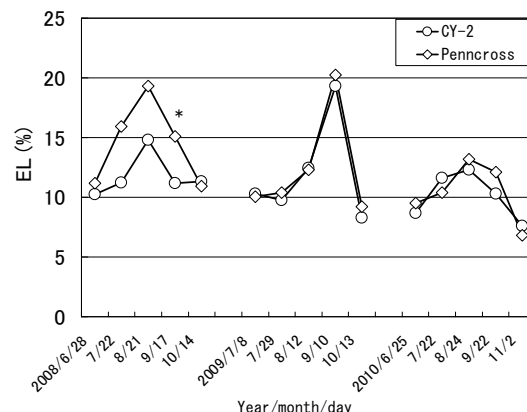


Fig.15 Seasonal changes in the electrolyte leakage (EL) from the leaves of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross'. Asterisk shows significant differences between the cultivars at 5% by *t* test.

実験 2. クリーピングベントグラス 2 品種の異なる刈り高で採取した葉身からの無機成分の溶出と葉身の MDA 含量

1) ダラスポット病, ブラウンパッチの発生及び芝生品質

各試験区のダラスポット病のスポット数, ブラウンパッチの発病面積率及び芝生品質を Table 28 に示した.

ダラスポット病のスポット数は, 8 月 15 日, 9 月 26 日のいずれも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向がみられた. ブラウンパッチの発病面積率は, 8 月 15 日に「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた. 品質は, 8 月 15 日, 9 月 26 日のいずれも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて高かった.

2) 芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度

各試験区の芝生表面に結露した水滴の EC 値, K, Ca 及び Mg 濃度を Table 29 に示した.

芝生表面に結露した水滴の EC 値は, 2012 年 8 月 20 日, 9 月 26 日のいずれも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった.

芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度は, 8 月 20 日, 9 月 26 日のいずれも K, Ca 及び Mg 濃度で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ, 8 月 20 日に K, Ca 及び Mg 濃度で有意差が認められた.

3) 異なる刈り高で採取した葉身の EL 値及び振とう, オートクレーブ抽出液の無機成分濃度

刈り高 5mm で採取した葉身 (地際から高さ 5.0mm 以上の葉身部位; 以後葉身上位部と記す) 及び刈り高 3.7mm

で採取した葉身（地際から高さ 3.7～5.0mm の葉身部位；以後葉身中位部と記す）について、振とう及びオートクレーブ抽出液の EC 値、EL 値、K 濃度を Table 30 に示した。

振とう抽出液の EC 値 (EC_{initial}) は、刈り高間では 2012 年 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。品種間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部、上位部の両部位で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。オートクレーブ抽出液の EC 値 (EC_{max}) は 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれの試験区も葉身部位間及び品種間に明確な傾向はみられなかった。EL 値は、葉身部位間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。品種間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部、上位部の両部位で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。

振とう抽出液の K 濃度 (K_{initial}) は、葉身部位間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて高い傾向がみられた。品種間では 8 月 20 日の葉身中位部、上位部、9 月 26 日の葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。品種間差は、葉身中位部で大きい傾向がみられた。オートクレーブ抽出液の K 濃度 (K_{max}) は、8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身部位及び品種間に明確な傾向はみられなかった。

オートクレーブ抽出液の K 濃度に対する振とう抽出液の K 濃度の百分率で示した KL 値は、葉身部位間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて高い傾向がみられ 8 月 20 日で有意差が認められた。品種間では 8 月 20 日の葉身中位部、上位部、9 月 26 日の葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。品種間差は、葉身中位部で大きい傾向がみられた。

Table 28 The number of spots caused by dollar spot disease, turf area damaged by brown patch and turf quality of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' in 2012.

Date of investigation	Cultivar	Spots caused by dollar spot disease (per 0.25 m ²)	Turf area damaged by brown patch (%)	Turf quality ^{a)} (1:worst- 9:best)
Aug. 15	CY-2	5.7	26.7	6.0 b
	Penncross	14.7	33.3	4.0 a
Sep. 26	CY-2	27.7	30.0	5.0 b
	Penncross	39.0	30.0	3.3 a

a) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% by Mann-Whitney U test.

Table 29 Electric conductivity (EC) value and mineral nutrient concentrations of dew water on turf surface in two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' in 2012.

Date of investigation	Cultivar	EC (ms/cm)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
Aug. 20	CY-2	0.227 a	10.73 a	4.43 a	22.32 a
	Penncross	0.317 b	15.95 b	5.84 b	30.99 b
Sep. 26	CY-2	0.197 a	13.77	3.01	13.17
	Penncross	0.237 b	15.89	3.63	15.60

a) Means in a column followed by the different letters are significantly different at 5% by t test.

Table 30 Electrolyte and potassium leakage (EL, KL) from leaves of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' on different cutting height in 2012.

Date of investigation	Leaf blade position ^{d)}	EC _{initial} (ms/cm) ^{a)}		EC _{max} (ms/cm) ^{b)}		EL (%) ^{d)}		K _{initial} (mg/L) ^{a)}		K _{max} (mg/L) ^{b)}		KL (%) ^{d)}	
		middle	upper	middle	upper	middle	upper	middle	upper	middle	upper	middle	upper
Aug. 20	Cultivar	CY-2		0.023	0.016	0.150	0.149	15.11	10.49	1.04	0.47	28.74	31.18
		Penncross		0.027	0.018	0.149	0.148	18.30	12.16	1.66	0.53	29.36	27.52
		Cultivar (A)		NS		NS		NS		NS		NS	
	ANOVA ^{e)}	Leaf blade position (B)		**		NS		*		NS		NS	*
Sep. 26		(A)×(B)		NS		NS		NS		NS		NS	
	Leaf blade position ^{d)}	middle		upper		middle	upper	middle	upper	middle	upper	middle	upper
		CY-2		0.029	0.023	0.142	0.139	20.42	16.75	4.23	3.54	30.02	29.55
		Penncross		0.039	0.027	0.138	0.140	28.09	19.00	6.02	3.47	29.51	28.83
		Cultivar (A)		NS		NS		NS		NS		NS	
		Leaf blade position (B)		*		NS		*		NS		NS	
		(A)×(B)		NS		NS		NS		NS		NS	
	ANOVA ^{e)}	Electrolyte leakage (EL) and potassium leakage (KL) were calculated as the percentage of EC _{initial} over EC _{max} and K _{initial} over K _{max} , respectively.											

a) EC_{initial} and K_{initial} are the electric conductivity and the potassium concentration of the shaking extract solution from creeping bentgrass leaf.

b) EC_{max} and K_{max} are the electric conductivity and the potassium concentration of the autoclaving extract solution from creeping bentgrass leaf.

c) Electrolyte leakage (EL) and potassium leakage (KL) were calculated as the percentage of EC_{initial} over EC_{max} and K_{initial} over K_{max}, respectively.

d) Middle position of leaf blade is the height between 3.7mm and 5mm above the soil surface of turf. Upper position of leaf blade is the height of more than 5 mm above the soil surface of turf.

e) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA. NS shows no significant effect.

葉身中位部及び上位部の葉身の振とう及びオートクレーブ抽出液の Ca, Mg 濃度を Table 31 に示した。

葉身の振とう抽出液の Ca 濃度 ($Ca_{initial}$) は、葉身部位間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。品種間では 8 月 20 日の葉身中位部、上位部、9 月 26 日の葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ 8 月 20 日に有意差が認められた。品種間差は葉身中位部で大きかった。オートクレーブ抽出液の Ca 濃度 (Ca_{max}) は、葉身部位及び品種間に明確な傾向はみられなかった。オートクレーブ抽出液の Ca 濃度に対する振とう抽出液の Ca 濃度の百分率で示した CaL 値は、刈り高間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。品種間では 8 月 20 日の葉身中位部、上位部、9 月 26 日の葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ 8 月 20 日に有意差が認められた。品種間差は葉身中位部で大きかった。

葉身の振とう抽出液の Mg 濃度 ($Mg_{initial}$) は、葉身部位間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。品種間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部、上位部の両部位で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ 8 月 20 日に有意差が認められた。品種間差は葉身中位部で大きかった。オートクレーブ抽出液の Mg 濃度 (Mg_{max}) は 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身部位間に明確な傾向はみられなかった。品種間では 9 月 26 日に「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった。オートクレーブ抽出液の Mg 濃度に対する振とう抽出液の Mg 濃度の百分率で示した MgL 値は、葉身部位間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。品種間では 8 月 20 日の葉身中位部、上位部、9 月 26 日の葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ 8 月 20 日に有意差が認められた。品種間差は葉身中位部で大きかった。

4) 異なる刈り高で採取した葉身の K, Ca 及び Mg 含量

異なる刈り高で採取した葉身の K, Ca 及び Mg 含量を Table 32 に示した。

K 含量は、葉身部位間には明確な傾向はみられなかったが、品種間では 2012 年 8 月 20 日で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に高かった。Ca, Mg 含量は、刈り高及び葉身部位及び品種間に明確な傾向はみられなかった。

5) 異なる刈り高で採取した葉身の TC, TN 及び C/N 比

異なる刈り高で採取した葉身の TC, TN 及び C/N 比を Table 33 に示した。

TC は、葉身部位及び品種間には明確な傾向はみられな

かった。

TN は、葉身部位間では 2012 年 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて低い傾向がみられた。品種間では 8 月 20 日の葉身中位部、上位部、9 月 26 日の葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて高い傾向がみられ、8 月 20 日に有意差が認められた。

C/N 比は、刈り高間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べて高い傾向がみられ、8 月 20 日で有意差が認められた。品種間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部、上位部の両部位で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べ低い傾向がみられ、8 月 20 日で有意差が認められた。

6) 異なる刈り高で採取した葉身の MDA 含量

異なる刈り高で採取した葉身の MDA 含量を Table 34 に示した。

MDA 含量は、葉身部位間では 2012 年 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも葉身中位部が上位部に比べ高い傾向がみられ、9 月 26 日に有意差が認められた。品種間では 8 月 20 日、9 月 26 日のいずれも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて有意に低かった。

第4節 考 察

本試験では、ダラースポット病、ブラウンパッチを誘発するため試験期間中は試験区に一切の殺菌剤処理を行わなかった。このため、2008 年、2009 年、2010 年のいずれの試験区にもダラースポット病及びブラウンパッチの発生が認められた。両病害とも 7 月下旬以降に発生率が上昇し、特にブラウンパッチはいずれの年度も盛夏期である 8 月中旬から下旬に発生が多く認められた。品種間で比較すると、年次間差はあるものの病害発生率は、いずれも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向が認められた。

一方、芝生品質は年次間差があるものの、7 月以降より品質が低下し、盛夏である 8 月中旬を過ぎて 9 月以降に最も低い品質となった。これは、高温期に受けた芝草のダメージが葉枯れ等の症状として表れてくるまでのタイムラグがあるためと考えられた。品種間で比較すると、年次間差はあるものの、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて高く推移した。

このように、夏季のクリーピングベントグラスでは病害が多発した後品質が低下する傾向がみられたこと、耐病性を持ち病害発生率の低い「シーワイター」は、常に「ペンクロス」に比べて高い品質を保持していたことから、夏季の品質に関する品種間差には、供試品種の耐病性の違いが

Table 31 Magnesium and calcium leakage (MgL, CaL) from leaves of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Penncross' on different cutting height in 2012.

Date of investigation		Mg ^{initial} (mg/L) ^{a)}		Mg ^{max} (mg/L) ^{b)}		MgL (%) ^{c)}		Ca ^{initial} (mg/L) ^{a)}		Ca ^{max} (mg/L) ^{b)}		CaL (%) ^{c)}	
		middle upper		middle upper		middle upper		middle upper		middle upper		middle upper	
Aug. 20	Leaf blade position ^{d)}												
	Cultivar	CY-2		2.69		21.88		2.03		7.45		27.47	
	Penncross	0.77		2.57		30.10		2.67		6.78		39.48	
	Cultivar (A)	*		NS		*		*		NS		*	
	ANOVA ^{e)}												
	Leaf blade position (B)			NS		**		**		NS		**	
	(A)×(B)	NS		NS		NS		NS		NS		NS	
	Leaf blade position ^{d)}												
Sep. 26	Cultivar	CY-2		2.02		32.22		1.90		4.13		45.74	
	Penncross	0.65		2.22		38.78		2.60		5.07		52.89	
	Cultivar (A)	NS		*		NS		NS		NS		NS	
	Leaf blade position (B)			NS		*		*		NS		*	
	ANOVA ^{e)}												
	Leaf blade position (B)			NS		NS		NS		NS		NS	
	(A)×(B)	NS		NS		NS		NS		NS		NS	
	Leaf blade position ^{d)}												

- a) Mg^{initial} and Ca^{initial} are the magnesium and calcium concentration of the shaking extract solution from creeping bentgrass leaf.
- b) Mg^{max} and Ca^{max} are the magnesium and calcium concentration of the autoclaving extract solution from creeping bentgrass leaf.
- c) Magnesium leakage (MgL) and calcium leakage (CaL) were calculated as the percentage of Mg^{initial} over Mg^{max} and Ca^{initial} over Ca^{max}, respectively.
- d) Middle position of leaf blade is the height between 3.7mm and 5mm above the soil surface of turf. Upper position of leaf blade is the height of more than 5 mm above the soil surface of turf.
- e) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA. NS shows no significant effect.

Table 32 Mineral concentrations in leaves of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' on different cutting height in 2012.

Date of investigation			K (g/kg dry wt of leaf tissue)		Mg (g/kg dry wt of leaf tissue)		Ca (g/kg dry wt of leaf tissue)	
	Leaf blade position ^{a)}		middle	upper	middle	upper	middle	upper
Aug. 20	Cultivar	CY-2	21.33	20.50	2.08	2.09	6.39	6.09
		Pennncross	19.85	19.57	2.02	2.04	6.85	6.92
		Cultivar (A)	*		NS		NS	
	ANOVA ^{b)}	Leaf blade position (B)	NS		NS		NS	
		(A)×(B)	NS		NS		NS	
Sep. 26	Cultivar	CY-2	23.21	22.06	1.82	1.71	5.48	5.46
		Pennncross	23.15	22.16	1.80	1.84	5.73	5.68
		Cultivar (A)	NS		NS		NS	
	ANOVA ^{b)}	Leaf blade position (B)	NS		NS		NS	
		(A)×(B)	NS		NS		NS	

a) Middle position of leaf blade is the height between 3.7mm and 5mm above the soil surface of turf.

Upper position of leaf blade is the height of more than 5 mm above the soil surface of turf.

b) Asterisk shows a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA. NS shows no significant effect.

Table 33 Contents of total carbon (TC) and total nitrogen (TN) and C/N ratio in leaves of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' on different cutting height in 2012.

Date of investigation			TC (g/kg dry wt of leaf tissue)		TN (g/kg dry wt of leaf tissue)		C/N	
	Leaf blade position ^{a)}		middle	upper	middle	upper	middle	upper
Aug. 20	Cultivar	CY-2	451.9	438.1	44.1	44.6	10.26	09.83
		Pennncross	446.1	438.8	41.9	42.6	10.66	10.29
		Cultivar (A)	NS		**		**	
	ANOVA ^{b)}	Leaf blade position (B)	**		NS		**	
		(A)×(B)	NS		NS		NS	
Sep. 26	Cultivar	CY-2	413.9	411.6	42.5	43.5	9.74	9.47
		Pennncross	420.5	424.3	42.1	43.8	9.99	9.69
		Cultivar (A)	NS		NS		NS	
	ANOVA ^{b)}	Leaf blade position (B)	NS		NS		NS	
		(A)×(B)	NS		NS		NS	

a) Middle position of leaf blade is the height between 3.7mm and 5mm above the soil surface of turf.

Upper position of leaf blade is the height of more than 5 mm above the soil surface of turf.

b) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA. NS shows no significant effect.

Table 34 Malondialdehyde (MDA) contents in leaves of two creeping bentgrass cultivars 'CY-2' and 'Pennncross' on different cutting height in 2012.

Date of investigation	MDA (nmol/g FW)	
	Leaf blade position ^{a)}	
Aug. 20		middle upper
	Cultivar	CY-2 30.30 26.77
		Pennncross 47.27 48.58
	ANOVA ^{b)}	Cultivar (A) **
		Leaf blade position (B) NS
Sep. 26		(A)×(B) NS
	Leaf blade position ^{a)}	middle upper
	Cultivar	CY-2 33.64 25.45
		Pennncross 49.49 39.70
	ANOVA ^{b)}	Cultivar (A) **
		Leaf blade position (B) **
		(A)×(B) NS

a) Middle position of leaf blade is the height between 3.7mm and 5mm above the soil surface of turf.

Upper position of leaf blade is the height of more than 5 mm above the soil surface of turf.

b) Asterisks show a significance of the factor at 5% (single) and 1% (double) by two-way factorial ANOVA. NS shows no significant effect.

影響すると考えられた。

損傷を受けた葉は健全葉よりも物質の溶出が増大することが知られており、高温、低温、干ばつ、微生物、害虫及び機械的、生理的原因により損傷を受けた葉からは N, P, K, Ca, Mg 等の無機成分が多量に溶出することが報告されている（木村，1997a；Tukey ら，1963；Tukey ら，1958；Tukey ら，1966；Tukey，1970）。また、トウモロコシ（*Zea mays* L.）では、病原菌の感染に伴う損傷によって電解質の溶出量が増加することが報告されている（Garraway，1973；Garraway ら，1989，；Dallagnol ら，2011）。従って、夏季のクリーピングベントグラスの芝生表面に結露した水滴の EC 値や EL 値に寄与する電解質は、高温及び病害による葉身の損傷によって溶出すると考えられる。

本試験の結果、夏季の高温時に発生したダラースポット病のスポット数及びブラウンパッチの発病面積率は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向がみられた。同様に、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び Ca や Mg 濃度は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられた。これは、夏季のクリーピングベントグラスでは、高温及びダラースポット病やブラウンパッチ等により葉身に損傷が引き起こされると、葉身からの無

機成分の溶出量が増大し、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び Ca や Mg 濃度が上昇するためと推察される。

このことから、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び Ca や Mg 濃度は、クリーピングベントグラス品種のダラースポット病及びブラウンパッチに対する耐病性や耐暑性等を反映させている可能性が考えられた。

芝生表面に結露した水滴の EC 値は、いずれの調査年も「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く推移する傾向を示したが、それぞれの試験区について EC 値の推移と品質の推移を比較すると、2008 年、2010 年の結果に見られたように、EC 値の推移と品質の推移が一致しない場合があった。

著者ら（2012）は芝生表面に結露した水滴の EC 値は大気中の湿度の影響を受け、値が短期間に変動することを報告しており、本試験においても同様な現象が認められている。従って、芝生表面に結露した水滴を比較するには、採取時の湿度等の環境条件を一致させる必要があるが、野外での試験圃場環境では困難である。これらのことから、芝生表面に結露した水滴の EC 値は、病害や高温ストレス等によって被った夏季の生育衰退の程度の変化を時系列で比較評価するには不適当であると考えられた。

一方、芝生葉身の損傷の程度を評価する指標として葉身

からの電解質の溶出割合 (EL) 値が提案されている。Huang (2004) は、パッティンググリーンにおける芝生葉身の高温ストレスの影響を EL 値を用いて評価し、芝生品質と葉身からの EL 値の推移が一致したことを報告している。しかし、Huang (2004) の報告では、品質評価の品種間の違いは調査期間中常に認められたが、葉身からの EL 値は品種間の違いがみられない期間があり、品質評価の品種間の違いを反映しない場合があることが示されている。本試験においても、2009 年、2010 年はシーワイター、ペンクロスとも芝生品質と葉身からの EL 値の推移は一致していた。しかし、品質評価の品種間の違いは常に認められたが、葉身からの EL 値に品種間の違いは認められず、品質評価の品種間の違いを反映しなかった。2009 年は、Table 35 にあるように 8~9 月の平均気温が平年値に比べて 1.3~1.4℃低く、ダラースポット病はシーワイター、ペンクロスの両品種で激しく発生した。また、2010 年は日本国内の各地で観測史上最も暑い夏になり、試験地においても 7~8 月の平均気温は、平年値より 1.8~2.3℃高い値となった。一方、病害の発生は 2008 年とほぼ同様であった。これらのことから、本試験において葉身からの EL 値に明確な品種間の違いが認められなかったことには、2009 年はダラースポット病、2010 年は高温の影響による葉身の損傷が関与していることが示唆された。

本試験において葉身からの EL 値の測定には、刈り高 5mm で回収した葉身上位部を材料としており、刈り高 5mm 以下の葉身中位部との間に損傷の程度に差があると考えられた。そこで、刈高を変えて葉身を採取し、上位及び中位葉の葉身からの EL 値と振とう抽出液の K, Ca, Mg 濃度を測定し、これらの値の葉位及び品種間の違いを検討した。芝生表面に結露した水滴の EC 値、K, Ca 及び Mg 濃度は、両品種間の品質の差を反映していた。一方、葉身からの EL 値は、葉身中位部、上位部いずれの葉身部位においても両品種間の品質の差を反映していたが、特に

葉身中位部で回収した中位葉でその差が大きい傾向が認められた。そこで、葉身の振とう抽出液の無機成分濃度を調査したところ、Mg 及び Ca 濃度は、同一品種であっても葉身中位部が上位部に比べて有意に高かった。また、品種間で比較すると、Mg と Ca 濃度は、葉身中位部、上位部のいずれも「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ、特に、葉身中位部でその差が大きかった。この違いは、品種間の品質評価の違い、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度の品種間の違いと一致した。これに対し、葉身のオートクレーブ抽出液の無機成分濃度は K, Ca, Mg のいずれも葉身部位及び品種間に差は認められなかった。これは、オートクレーブ処理によって細胞組織が破壊され、水溶性の無機成分が溶出したと考えられ、このような条件下では K, Ca, Mg の溶出の程度に葉身部位及び品種間に差が出なかったと考えられた。さらに、葉身の無機成分含量は葉身部位及び品種間に差が認められなかったことから、オートクレーブ抽出液の無機成分含量は葉身の無機成分含量を反映していると考えられた。これらのことから、芝生表面に結露した水滴及び葉身中位部の振とう抽出液の Ca, Mg 濃度の品種間の違いは、葉身からの無機成分の溶出量の違いを反映していると考えられた。

一方、葉身の振とう抽出液の K 濃度については統計的に有意な品種間差が認められなかった。K は植物体内においてイオン状態で移動しており、細胞内・組織内の代謝の活性化、pH の安定、浸透圧の調整など、重要な生理的役割を果たしている (山本, 1987)。K のように葉身中に高濃度で存在し移動性が高い成分は、葉身中の含量以外の要因に依存していると考えられ、葉身の振とう抽出液の濃度が条件によって変動すると考えられた。

Zhang ら (2013) は、シバムギモドキ (*Leymus chinensis*) の葉身の C/N 比は葉齢の進行に伴って高くなることを報告している。そこで、採取部位別の葉身の C/N 比について

Table 35 Average monthly air temperature during the investigation period.

Year	Average monthly air temperature(℃)					
	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
2008	20.1	25.6	26.0	22.6	17.6	11.5
2009	21.1	25.2	24.9	21.0	17.1	11.7
2010	22.1	26.9	28.0	23.6	17.4	11.5
Average year values	20.9	24.6	26.2	22.4	16.7	11.4

a) Average year values based on average values between 1963 and 2010.

b) Data of Aug. and Sep. in average year values is values except for data of 2006.

て見てみると、葉身中位部が上位部に比べて高く、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低い傾向がみられ、葉身中位部でその差が大きかった。葉身の TC は、葉身部位、品種間に明確な傾向はみられなかった。しかし、葉身の TN は、葉身中位部が上位部に比べて低い傾向がみられ、葉身中位部で「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて高い傾向がみられた。これらのことから葉身の TN が葉身の C/N 比に影響したと考えられた。また、Hikosaka ら (1994) はセイヨウアサガオ (*Ipomoea tricolor* cav.) を用い、葉身の老化に伴って葉身の窒素含量が低下することを報告している。本試験の結果から、クリーピングベントグラスでは、葉身中位部は上位部に比べて、ペンクロスはシーワイターに比べて葉身の老化が進行している可能性が考えられた。

葉身の MDA 含量は葉身中位部で多くなる傾向があり、「シーワイター」よりも病害が多く発生し品質が低下した「ペンクロス」の葉身中位部で有意に多かった。

MDA は細胞膜の磷脂質の酸化時に形成される脂質過酸化反応産物で、酸化ストレスによる細胞膜の損傷の指標となっている。Jiang ら (2001) は、ヒートストレスを受けたトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) とケンタッキーブルーグラス (*Poa pratensis* L.) において葉身の MDA 含量の増加を報告し、Hui-ping ら (2012) は乾燥ストレスを受けたアワ (*Setaria italica* (L.) P. Beauv) において葉身の MDA 含量の増加を報告している。また、Leandro ら (2011) は、イネごま葉枯病菌 (*Bipolaris oryzae*) に感染したイネ (*Oryza sativa* L.) の葉身の MDA 含量の増加を報告している。これらのことから葉身中位部の MDA 含量の多寡は、品種間の品質の違いを反映しており、夏季の高温や乾燥及び病害による葉身の損傷により増加したと考えられる。これに対し、葉身上位部は MDA 含量が低いことから、葉身の葉齢が若く、損傷の程度が小さいと推察された。これは、葉身上位部には刈り込み後に再生した比較的葉齢の若い葉が多く、夏季の高温や病害による損傷を受けやすいが、常に刈り込みと再生が繰り返されているため葉身中位部に比べて損傷の程度が小さかったと考えられる。

これらのことから、本試験において葉身からの EL 値の品種間の差が品質評価の品種間の差として反映しない要因として、葉身からの EL 値の測定は葉身上位部を材料としており、葉身中位部に比べて損傷の程度が少なかったこと、損傷を受けた葉は生長せず、損傷の少ない葉身上位部のみ回収され、損傷を受けた葉身からの EL 値が反映されなかったことが考えられる。

以上の結果から、クリーピングベントグラスの夏季の生育衰退程度の品種間の違いは、夏季の病害や高温による葉身の損傷に伴う葉身からの無機成分の溶出の程度に影響を及ぼすと考えられ、芝生表面に結露した水滴の EC 値、葉身中位部の葉身の振とう抽出液の Ca 及び Mg 濃度に反映されることが考えられた。

第5節 摘 要

耐暑性及び耐病性の異なる「シーワイター」と「ペンクロス」を用い、夏季の芝生品質と芝生表面に結露した水滴の EC 値と無機成分濃度及び葉身からの EL 値と葉身の振とう抽出液の無機成分濃度を調査し、これらの関係について検討した。その結果、夏季高温時のダラースポット病のパッチ数及びブラウンパッチの発病面積率は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて少ない傾向がみられ、芝生品質も「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて常に高く推移した。芝生表面に結露した水滴の EC 値は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて常に低く推移し、品質評価の品種間の違いと一致した。しかし、葉身からの EL 値の品種間の違いは、品質評価の品種間の違いを反映しない場合があった。葉身中位部の振とう抽出液の Ca と Mg 濃度は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて低く、品質評価、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分濃度の品種間の違いと一致した。以上のことから、「シーワイター」と「ペンクロス」の夏季の生育衰退程度の品種間の違いは、病害や夏季の高温・乾燥による葉身の損傷に伴う葉身からの無機成分の溶出に影響を及ぼし、芝生表面に結露した水滴の EC 値、葉身中位部の振とう抽出液の Ca や Mg 濃度に反映されることが明らかになった。

第七章 総合考察

日本でクリーピングベントグラスの導入が盛んになった 1960 年代以降、導入するに当たって栽培実績が有り、管理についての情報が多くあった「ペンクロス」が多くのゴルフ場で導入・栽培されてきた。しかし、「ペンクロス」は、従来の品種に比べて耐暑性はあったものの、日本のようなモンスーン気候の夏季の高温多湿の環境下においては、梅雨明け以降の茎密度の著しい低下によるグリーンの品質低下が問題となっていた。ゴルフ場の芝生管理者からは、夏季の茎密度低下の少ない品種への要望が高かった。「シーワイター」の夏季の茎密度は、「ペンクロス」に比べて 1.7 倍あり、「L-93」の 1.3 倍、「ペン A-1」、「ペン A-2」とはほぼ同等で、茎密度が高く維持される品種である。このことから、夏季の茎密度の低下が心配される地域でも「シーワイター」の利用によって高い品質が維持されると考えられる。

冬季のクリーピングベントグラスグリーンに発現するアントシアニン斑は、造成年次の経過とともに増加し、スポット状やモザイク状に形成され、グリーンの均一性を失わせると共に景観も悪くなることが問題となっている（縣ら、2010）。そのため、多くのゴルフ場では、養生シートの被覆や着色剤の散布によってアントシアニン斑を目立たなくする作業が行われている。しかし、この作業によってアントシアニン斑を完全に消すことは不可能である。「シーワイター」は、「ペンクロス」と比較するとアントシアニン斑が発現しにくく、冬季緑度は安定して維持される。この特性は、冬季のクリーピングベントグラスグリーンの品質向上と養生シートの被覆や着色作業の労力及びコストの軽減につながると考えられる。

夏季衰退の要因として、高温が最大の要因と考えられるが（Huang, 2004）、Dernoeden ら（2008）は、殺菌剤処理することによって夏季衰退が軽減されることを報告しており、病害の影響が大きいと考えられている。ダラースポット病は、そのパッチ部の芝生が完全に枯死すると芝生面が凹み、パッティングクオリティーを著しく低下させる重要病害である。また、ブラウンパッチは、茎密度を低下させるほか激しい場合には直径 30 cm 程度の円形のパッチ部が枯死し、芝生品質を著しく低下させる。「シーワイター」の育成過程では、交配母本の一次選抜の段階から耐病性個体の選抜を行ってきた。その結果、ダラースポット病に対して強い抵抗性を確認している。ダラースポット病に感染した場合でもパッチ部は小さく、単位面積当たりの発生数は少ないことから、殺菌剤の散布後は速やかに回復することが確認されている。ブラウンパッチについても対照品種に比較するとその発生は軽微であることから本

病に対しても耐病性があると考えられる。近年、クリーピングベントグラスグリーンにおける病害については炭疽病やピシウム病の発生が多くのゴルフ場から報告されている（千葉県コース管理者会 2015）。「シーワイター」についても現地で発生していることが報告されておりダラースポット病やブラウンパッチ以外の病害については、今後検討する必要がある。

「シーワイター」は、2003 年 8 月にアメリカ合衆国中心に北米地域 27 ヶ所で実施する NTEP 試験にエントリーした。本試験において「シーワイター」は、ダラースポット病やブラウンパッチに対する耐性が高いと評価された。また、高い耐暑性が要求されるアメリカ合衆国内の低緯度地帯の試験地の品質評価においても高く評価された。冬季緑色については、淡い緑色で評価された。2004～2007 年の 4 年間にわたる試験の総合評価では、サンドグリーンにおける評価で第 1 位であった（NTEP 2008）。また、2012 年アメリカ 11 大学の共同評価においてダラースポット病耐病性品種として高く評価され総合品質で第 1 位であった（Settle ら、2012）。

「シーワイター」の育成過程では、第一次選抜は無農薬管理を行ったクリーピングベントグラス品種比較圃場において、夏季の病害虫、猛暑及び乾燥により壊滅的被害を受け、冬季の寒さに遭遇し葉色が最も悪い時期でも緑色を呈している個体を採取し、これらの個体群から交配母本を選抜したことが耐暑性及び冬季緑色保持性など複合的な特性を併せ持つ品種の育成につながったと考えられる。これまでのクリーピングベントグラス品種の育成に関する報告には、このような手法が明確に書かれた記述は見当たらない。従って、本手法は、耐暑性が高く、冬季の緑色保持性の高いクリーピングベントグラス品種の育成において有力な手法になると判断される。第一次選抜で得られた 146 系統のクローンを育成素材にし、ダラースポット病とブラウンパッチ耐性があるとともに冬季緑色保持性が高い特性を選抜指標として母栄養系を得た。Bonos ら（2005, 2006）は、ダラースポット病耐病性が後代に強く遺伝することを報告している。本試験においても、ダラースポット病耐病性形質で選抜した母栄養系による多交配で得られた後代は、交配の組み合わせを変えてもダラースポット病耐病性形質が強く遺伝されることが確認された。また、冬季緑色保持性形質は、後代に強く遺伝し、冬季の緑色保持性の高い系統を交配母本とした場合に後代に冬季緑色保持性形質が強く遺伝されることが確認された。地球温暖化が進みつつある今日では、耐暑性は非常に重要な特性である。「シーワイター」は対照品種に比べて耐暑性が高いことが

確認されている。この特性は、品種比較区試験圃場からの母栄養系の選抜において前年の真夏の試験圃場が猛暑下で壊滅的な被害を受けその後回復したコロニー集団から選抜したことから、耐暑性に関して強い淘汰圧がかかったためと考えられる。従って、これらの諸特性に対し安定した再現性を持つ「シーワイター」は、夏季及び冬季のクリーピングベントグラスグリーン品質向上とゴルフ場管理者の労力及び管理コストの軽減に大きく貢献すると考えられる。

本研究では、「シーワイター」の夏季の生育特性を「ペンクロス」を対照品種として体内無機成分の構成に着目して評価した。その結果、「シーワイター」の夏季の葉身部の K 含量は、「ペンクロス」に比べて高く、K と Ca 及び Mg との関係を示す K/Ca, K/Mg は、「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて高いことが明らかとなった。また、「シーワイター」の夏季品質及びダラースポット病耐病性が「ペンクロス」に比べて高いことが確認された。K は、蒸散作用に係わる気孔の孔辺細胞の開閉、細胞の肥大や細胞壁の合成など植物の茎や葉など物理的強度、光合成やタンパク質合成及び同化産物の転流に重要な役割を果たしており、耐暑性、耐寒性、耐踏圧性、耐病性を高めるとも言われている (Beard, 1973b ; 山本, 1987) 。クリーピングベントグラスでは、夏季に葉身部の K 含量に減少傾向がみられ、K の施用によって夏季生育が改善したという報告がある (趙ら, 2012) 。これらのことからクリーピングベントグラスの夏季の生育衰退に K が関与していることが示唆された。

雨、露、霧などによって植物の葉や茎などから無機物質及び有機物質などが溶出する現象はリーチングと呼ばれている (Tukey, 1970) 。植物の茎葉の表皮細胞の外表面には、水を通しにくいクチクラ層があり、ワックスが沈着してロウ被を形成している。物質の溶出量は、高温、低温、干ばつ、微生物、害虫及び機械的、生理的原因による障害によって溶出量が増大するとされ (木村, 1997b ; Tukey ら, 1963 ; Tukey, 1966 ; Tukey, 1970) 、物質の溶出程度には、植物の種類、品種により違いがあるとされる (木村, 1997a ; Tukey ら, 1958 ; Tukey ら, 1964) 。また、植物は、高温、低温、乾燥などの環境ストレスにさらされると活性酸素を生じる。活性酸素は、細胞膜の脂質を酸化し葉の老化を引き起こし、老化した葉の細胞膜は浸透性が高くなり無機成分などの物質の溶出が助長される。特に K, Mg, Ca は溶出されやすい無機成分と言われている (木村, 1997a) 。夏季のクリーピングベントグラスグリーンでは、葉身中の K や Mg 及び Ca 等の無機成分含量が著しく減少し、K や Ca の施用によって夏季品質が高まることが報告されている (趙ら, 2012) 。

夏から晩秋季にかけて、クリーピングベントグラスの芝生表面には、結露した水滴が多く付着する。また、夏季のクリーピングベントグラスグリーンでは乾燥害、高温障害の予防から灌水量が増加する。そのため、葉から物質の溶出量が助長されると考えられる。さらに、芝刈りなどの管理機械、紫外線による組織の損傷、病原菌の感染による組織の損傷など物理的な障害によってもリーチングは助長されると考えられ、葉身中の K や Mg 及び Ca 等の無機成分含量の著しい減少に深く関係していると考えられる。

本研究では、植物体からリーチングされやすい無機成分である K, Mg, Ca に着目し、耐病性及び耐暑性の高い「シーワイター」と耐病性及び耐暑性の低い「ペンクロス」間の芝生表面に結露した水滴及び葉身の振とう抽出した液体の K, Ca, Mg 濃度の品種間差を検討した。その結果、供試した芝生のダラースポット病、ブラウンパッチの発生は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて小さく、芝生表面に結露した水滴の Ca や Mg の濃度は「シーワイター」が「ペンクロス」に比べて小さかった。また、葉身の振とう抽出液の無機成分濃度の品種間差は特に Mg, Ca 濃度において、葉身上位部よりも中位部で明確に現れ芝生表面に結露した水滴の EC 値の結果を反映した。

Lucas (1996) は、夏季に発生する病害、特にピシウム病やブラウンパッチの発生が夏季の生育衰退を助長し、殺菌剤の使用によって夏季の衰退現象は抑制されると報告している。本研究では、殺菌剤処理を行わなかった試験区の芝生表面に結露した水滴の EC 値及び K, Mg, Ca 等の無機成分含量の「シーワイター」と「ペンクロス」の品種間差が殺菌剤処理を行なった試験区の品種間差に比べて高いことが確認され、「シーワイター」の葉身の病原菌の感染に伴う組織の損傷の程度が「ペンクロス」に比べて小さい特性を反映した結果と考えられた。

近年、クリーピングベントグラスグリーンの夏季の生育衰退を回避する手段として、耐暑性や耐病性を併せ持つ新品種の導入、夏季の強日射に伴う紫外線の影響を軽減する UV カット剤やストレスを軽減する資材として肥料成分の有無に関わらず成長を促進する効果のある有機化合物の腐植物質や海草抽出物などの散布が行われている。このような品種や資材の導入において、芝生表面に結露した水滴の EC 値を比較評価することによって、効果を客観的にとらえることが可能であると考えられる。また、芝生管理者は、クリーピングベントグラスグリーンの定期的な栄養診断によって栄養状態を把握し、栽培管理を行っているが、1 年間に行える回数は限られ、リアルタイムの診断に基づく管理は行われていない場合が多い。本研究で行った芝生表面に結露した水滴の EC 値を比較評価する手法は、結露条件が同様な環境であれば同一時に異なるグリーンで採

取した水滴の EC 値を簡易な手法で比較評価することが可能で、リアルタイムでクリーピングベントグラスグリーンの栄養状態や生理状態を把握することができ、芝生管理者の栽培管理に貢献できると考えられる。

以上、本研究論文では、殺虫剤以外の農薬を処理しない圃場から優良な交配母本を効率的に選定し冬季緑色保持

性、耐病性、耐暑性を併せ持つ種子繁殖性クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の開発を世界で初めて成功させた選抜育成経過を明らかにするとともに、本品種の夏季の生育及び芝生品質に関連する特性を葉身からの無機成分の溶出に着目し評価したものである。

総合摘要

本研究は、クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の選抜育成過程と夏季生育衰退期における生育諸特性の検定法の確立と諸形質に関してとりまとめたものである。すなわち、①クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の親栄養系の選抜方法及びその育成過程、さらにダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性及びアントシアニンの発現性など諸形質、②減農薬、無農薬管理条件下における夏季の刈り取り量、芝生品質と葉身の無機成分含量との関係、③晩秋季の芝生の表面に結露した水滴中の無機成分含量の測定における干渉抑制剤の添加効果の確認、④殺菌剤無処理及び殺菌剤処理管理下における病害発生程度及び芝生表面に付着した水滴の EC 値、無機成分含量との関係、⑤夏季の芝生品質、芝生表面に結露した水滴の EC 値と無機成分濃度、葉身の EL 値との関係について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

①「シーワイター」の親栄養系の一次選抜は、無農薬管理下の品種比較圃場で行った。選抜前年の夏季の猛暑と病害虫の発生のため多くの個体は枯死したが、生存した株を対象に冬季のアントシアニン発現程度が低い 146 栄養系統を選抜した。最終的に、ダラースポット病耐病性及びブラウンパッチ耐病性が高く、冬季のアントシアニン発現性の低い 9 栄養系統を選抜した。これらにダラースポット耐病性が高く、冬季のアントシアニン発現性が低いことから既に分離していた 1 栄養系を加えた 10 栄養系を用いて、5 ～6 の親栄養系の組み合わせにより「CY-I」、「CY-II」、「CY-III」の 3 合成系統を育成し、採種性及び 3 合成系統のダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性及びアントシアニン発現程度について調査した。3 合成系統は、供試した既存の対照品種に比べてダラースポット病耐病性が高く、冬季アントシアニンの発現が低かった。採種量の多かった「CY-II」にダラースポット病耐病性が高い傾向を示した「CY-III」の 1 親栄養系由来の合成第 1 代を加えた個体集団から合成品種「シーワイター」を育成した。育成された「シーワイター」は、既存品種である「L-93」、「ペン A-1」や「ペंकロス」よりもダラースポット病及びブラウンパッチに対する耐病性は高く、冬季のアントシアニンの発現性は低かった。

②夏季の芝生品質は「シーワイター」、「L-93」、「ペंकロス」の順に高く推移する傾向が認められた。葉身の無機成分含量は、「シーワイター」と「L-93」は K 含量が多く、「ペंकロス」は Ca と Mg 含量が多い傾向が認められた。K/Mg 比、K/Ca 比は、「シーワイター」、「L-

93」、「ペंकロス」の順に高い傾向が認められ、葉身の無機成分含量及び含量比に品種間の違いが確認された。夏季の葉身の無機成分含量の品種間の違いは、芝生品質の品種間の違いと一致した。

③芝生表面に結露した水滴の無機成分の原子吸光法による測定時の干渉抑制剤の添加効果について、K 濃度の測定では、干渉抑制剤として炭酸カルシウムの添加が無添加に比べて高い値となる傾向が認められた。Ca 濃度の測定においては、干渉抑制剤として塩化ランタンの添加が無添加に比べて有意に高い値を示した。しかし、Mg 濃度の測定においては、干渉抑制剤として塩化ランタンを添加しても測定精度の明確な向上は認められなかった。EC 値と干渉抑制剤を添加して測定した K, Ca, Mg の値との相関は非常に高かった。試験期間を通じて EC 値、K, Ca 及び Mg 濃度の全てにおいて「シーワイター」が対照品種「ペंकロス」に比べて低く推移し、芝生表面に結露した水滴の EC 値、無機成分濃度に品種間差が確認された。

④夏季のダラースポット病、ブラウンパッチの発生は、殺菌剤無処理区が処理区より多く、殺菌剤無処理区では「シーワイター」が「ペंकロス」より少なく推移する傾向が認められた。芝生表面に結露した水滴の EC 値、K, Ca, Mg 濃度は、殺菌剤無処理区が殺菌剤処理区より高く、殺菌剤無処理区では「シーワイター」が「ペंकロス」より低く推移する傾向がみられ、ダラースポット病、ブラウンパッチの品種間の違いと一致した。

⑤夏季の芝生品質は、「シーワイター」が「ペंकロス」に比べて常に高く推移した。芝生表面に結露した水滴の EC 値は、「シーワイター」が「ペंकロス」に比べて常に低く推移し、芝生品質の品種間の違いと一致した。しかし、葉身の EL 値の品種間の違いは、芝生品質の品種間の違いを反映しない場合があった。一方、葉身中位部の振とう抽出液の Ca と Mg 濃度は、芝生品質、芝生表面に結露した水滴の EC 値、Ca, Mg 濃度の品種間の違いと一致した。

⑥以上から無農薬管理下の品種比較圃場から選抜された親栄養系を交配母本に用いたクリーピングベントグラス品種「シーワイター」は、ダラースポット病耐病性、ブラウンパッチ耐病性、耐暑性及び冬季のアントシアニン低発現性に優れた品種であることが明らかとなった。本品種の夏季の生育及び芝生品質に関連する特性は、芝生表面に結露した水滴の EC 値及び無機成分を指標に評価できることが明らかとなった。

謝 辞

この論文を草するに当たって、終始御指導、御助言を賜り、御校閲の労をとられた九州大学教授上野修先生及び九州大学名誉教授縣和一先生に感謝を申し上げます。また、有益な御助言と御校閲を賜った九州大学教授古屋成人先生、九州大学准教授齋藤和幸先生に深く感謝を申し上げます。さらに、今日に至るまで、研究を進める上での心の支えとなり、御激励を賜った恩師東京農工大学名誉教授石原邦先生、東京農工大学名誉教授平沢正先生、宇都宮大学名誉教授渡邊和之先生に深く感謝を申し上げます。

今まで発表した論文の一部については、九州東海大学名誉教授福岡壽夫先生、宮崎大学教授明石良先生、ニチノー緑化(株)鬼原久和氏に御助言と御校閲を賜った。記して深く感謝を申し上げます。

研究の実際にあたっては、種々有益なご助言と激励を頂き、調査、実験に協力して頂いた元千葉県農林総合研究セ

ンター安藤光一氏、元千葉県農林総合研究センター梅本清作氏に深く感謝を申し上げます。ゴルフ場での試験に対しては多大なご協力を賜った元鷹の台カントリークラブ在原彊氏、泉カントリークラブ寺町章氏に深く感謝を申し上げます。

この仕事は、千葉県農林総合研究センター及び雪印種苗(株)に所属した数多くの方々の協力があって完成したものであった。ここにお名前を上げて深く感謝を申し上げます。青木孝一氏、久保周子氏、横山とも子氏(以上、千葉県農林総合研究センター)、真行寺孝氏、細谷宗令氏(以上、元千葉県農林総合研究センター)、入山義久氏、近藤聡氏、高嶋啓二氏、立花正氏、高山光男氏、谷津英樹氏(以上、雪印種苗(株))。また、芝地の造成、維持管理に対しては多大な御協力、御援助を頂いた千葉県農林総合研究センターの農業技術員の方々に深く感謝を申し上げます。

引用文献

- 縣 和一・武内康博 (2010) ベントグリーンにおける紫斑形成の実態とその生態生理的意義ならびに抑制対策について. 西日本グリーン研究所だより. №70 : 28-39.
- 秋篠周太郎・小野澤圭介・木村正一・宮川智善・屋脊下亮・平野淳子 (2001) ベントグリーンにおける葉身中の無機養分量と芝草生育との関連性について. 芝草研究. 30 (別 1) : 40-41.
- 安藤光一・加藤正広 (2012) 晩秋にクリーピングベントグラス 2 品種の芝生表面に結露した水滴の無機成分濃度と EC 値及び pH との関係. 芝草研究. 40 (2) : 137-140.
- Beard, J. B. (1973a) Temperature. Turfgrass science and culture. pp.217. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
- Beard, J. B. (1973b) Fertilization. Turfgrass science and culture. pp.416-418. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
- Beard, J. B. (1973c) Cool season turfgrasses. Turfgrass science and culture. pp.73-79. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
- Bonos, S.A. (2005) Creeping bentgrass cultivars with improved dollar spot resistance. Golf Corse Management. 73 (9) :96-100.
- Bonos, S.A., B.B. Clarke and W.A. Meyer (2006) Breeding for Disease Resistance in the Major Cool-Season Turfgrass. Ann. Rev. Phytopathology. 44:213-234.
- Carrow, R.N. (1996) Summer decline of bentgrass greens. Golf Course Management. 64 (6) : 51-56.
- 千葉県ゴルフ場場等無農薬化推進連絡協議会 (2000) THE GREEN CHARENGE ゴルフ場の無農薬化を目指して. Vol.10 : 6.
- 千葉県農林水産会議技術調整部会土壌・肥料分科会 (2005) 土壌, 水質及び作物分析診断. pp. 112-113. 千葉県農林水産技術会議.
- 千葉県コース管理者会 (2015) 平成 26 年度研究会資料. pp. 100-114.
- 趙 徹・工藤 眞・木村正一 (2012) 夏季のベントグラスグリーンにおけるカリウム, カルシウム施肥の効果. 芝草研究. 41 (別 1) : 32-33.
- Dallagnol, L. J., F. A. Rodrigues, S. C. V. Martins, P. C. Cavatte, and F. M. DaMatta (2011) Alterations on rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*. Aust. Plant Pathol. 40: 360-365.
- Dernoeden, P. H. and J. Fu (2008) Fungicides can mitigate injury and improve creeping bentgrass quality. Golf Course Management. 76 (4) : 102-106.
- Engelke, M.C, V.G. Lehman, C.Mays, P.F. Colbaugh, J.A. Reinert, and W.E. Knoop (1995) Registration of 'Cato' Creeping Bentgrass. Crop Sci. 35: 590-591.
- Garraway, M. O (1973) Electrolyte and peroxidase leakage as indicators of susceptibility of various maize inbreds to *Helminthosporium maydis* races O and T. Plant Disease Rep. 57 (6) : 518-522.
- Garraway, M. O, M. Akhtar, and E. C. W. Wokoma (1989) Effect of high temperature stress on peroxidase activity and electrolyte leakage in Maize in relation to sporulation of *Bipolaris maydis* race T. Phytopathology. 79 (7) : 800-805.
- ゴルフ場セミナー編集部 (2011) データから 21 世紀を読む. ゴルフ場セミナー 5 月号. pp. 85-89. ゴルフダイジェスト社. 東京.
- Goss, R.L.and C.J.Gould (1967) Some interrelationships between fertility levels and ophiobolus patch disease in turfgrasses. Agron. J. 59: 149-151.
- 原田久富美・須永義人・畠中哲哉 (2001) トウモロコシ (*Zea mays* L.) の養分濃度の品種間差異. 日草誌. 47 (3) : 289-295.
- Hikosaka, K., I. Terashima, and S. Katoh (1994) Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the distribution of nitrogen among leaves of a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. Oecologia 97: 451-457.
- Hovland, D. and Caldwell, A. C. (1960) Potassium and magnesium relationships in soils and plants. Soil Sci. 89: 92-96.
- 穂積清之 (1968) 水稻の溢泌液に関する研究 : 第 3 報 硫化水素処理が溢泌液量および液内無機成分におよぼす影響. 日本作物学会東海支部研究発表梗概. (53) : 1-2.
- 福岡県 (2011) 福岡県水稻・麦施肥基準. pp. 6-11. 福岡県農林水産部農林水産物安全課.
- Hui-Ping, D., S. Chang-Juan, W. Anzhi, Y. Tuxi, S. Wen-

- Qing and F. Bai-Li (2012) Leaf senescence and photosynthesis in foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv] varieties exposed to drought conditions. *Aust. J. Crop Sci.* 6 (2) : 232-237.
- Huang, B. (2001) Summer bentgrass decline causes and cures. *Golf Course Management*. 69 (7) : 61-64.
- Huang, B., X. Liu, and Q. Xu. (2001) Supraoptimal soil temperatures induced oxidative stress in leaves of creeping bentgrass cultivars differing in heat tolerance. *Crop Sci.* 41: 430-435.
- Huang, B. (2004) Summer bentgrass decline and oxidative stress. *Golf Course Management* 72 (3) : 119-122.
- Jiang, Y. and B. Huang. (2001a) Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sci.* 41: 436-442.
- Jiang, Y. and B. Huang. (2001b) Effect of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool-season grasses. *J. Exp. Bot.* 52: 341-349.
- 加藤正広・立花 正・久保周子・真行寺孝・横山とも子・青木孝一・梅本清作・高山光男・高嶋啓二・入山義久・谷津英樹・近藤聡 (2005) ダラースポット病及びブラウンパッチ耐病性 ベントグラス品種「CY-2」の育成. *芝草研究*. 30 (別1) : 40-41.
- 加藤正広・安藤光一 (2009) 夏季におけるクリーピングベントグラス品種の特性と無機成分含量. *芝草研究*. 38 (1) : 24-29.
- 加藤正広・立花 正・久保周子・真行寺孝・横山とも子・青木孝一・梅本清作・高山光男・高嶋啓二・入山義久・谷津英樹・近藤聡 (2010) クリーピングベントグラス品種「シーワイター」の育成. *芝草研究*. 39 (2) , 139-147.
- 加藤正広・安藤光一 (2012) 病害と殺菌剤処理の有無がクリーピングベントグラス2品種の芝生表面に結露した水滴の無機成分に与える影響について. *芝草研究*. 40 (2) : 130-136.
- 川地太兵・須永義人・江波戸宗大・畠中哲哉 (2006) イタリアンライグラスにおけるミネラル濃度などの品種間差異. *日草誌*. 52 (別) : 242-243.
- Kim, S.A., S. Yoshida and R. kayama (1986) Potassium leaching from living foriages. *J. Japan. Grassl. Sci.* 32 (2) : 95-101.
- 木村和義 (1997a) 雨とリーチング. 作物にとって雨とは何か―「濡れ」の生態学. pp.70-81. 農山漁村文化協会. 東京.
- 木村和義 (1997b) 雨とリーチング. 作物にとって雨とは何か―「濡れ」の生態学. pp. 86-87. 農山漁村文化協会. 東京.
- 小林 知・景山幸二・須賀晴久・百町満朗 (2001) AFLP分析によるノシバ・コウライシバ葉腐病菌 *Rhizoctonia solani* AG2-2LP とベントグラス葉腐病菌 *R.solani* AG2-2III B のゴルフ場における個体群構造 (講演要旨). *日植病報*. 67 : 195.
- 古賀雅義・西田正志・吉田 烈 (2004) 原子吸光法による天然水中のカルシウムの定量における塩化ランタン添加量の低量化. *分析化学*. 53 : 173-176.
- 越野正義編著 (1988) 第二改訂 詳解肥料分析法. pp. 120-123. 養賢堂. 東京.
- Lucas, L. T. (1996) Heat stress and decline of creeping bentgrass. *Turfgrass Trends*. 5: 1-7.
- 馬 啓林・山口武視・中田 昇・中野貴章・田中朋之・中野淳一 (2005) ダイズ茎基部からの出液を用いた過湿による根系機能低下の評価. *根の研究*. 14 (1) : 3-8.
- McCarty, L. B. and B. J. Tucker (2005) Prospects for managing turf weeds without protective chemicals. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 10: 34-41.
- 眞木芳助・柳 久・大久保 昌 (1991a) ベントグラス: 総説. ベントグラス―特性と最新のグリーン造成・管理―. pp. 32-34. ソフトサイエンス社. 東京.
- 眞木芳助・柳 久・大久保 昌 (1991b) ベントグラスの種類と品種. ベントグラス―特性と最新のグリーン造成・管理―. pp. 45-58. ソフトサイエンス社. 東京.
- Markland, F.E., E.C.Roberts, and L.R. Fredrick. (1969) Influence of nitrogen fertilizers on washington creeping bentgrass, *Agrostis paulustris* Huds. II. Incidence of Dollar Spot, *Sclerotinia homeoeocarpa*, infection. *Agron. J.* 61: 701-705.
- 水流正裕・高井智之・後藤和美・清沢敦志・渡辺晴彦 (2012) ソルガム類 (*Sorghum bicolor* Moench) における養分濃度および吸収量の品種間差. *日草誌*. 58 (1) : 9-15.
- Miller, G.L. (1999) Potassium application reduces calcium and magnesium levels in bermudagrass leaf tissue and soil. *Hort. Sci.* 34 (2) : 265-268.
- Muselli M, D. Beysens, E. Soyeux, and O. Clus (2006) Is dew water potable? Chemical and biological analyses of dew water in Ajaccio (Corsica Island, France). *J Environ. Qual.* 35 (5) : 1812-1817.

- NTEP (National Turfgrass Evaluation Program), Inc., and the United States Department of Agriculture (2008) 2003 National Bentgrass (Putting Green) Test 2004-07 Data Final Report. NTEP. No. 08-8. <http://www.ntep.org/reports>.
- 長田博光・後藤郁子 (1968) 原子吸光分光分析法による食品中の金属の定量に関する研究－I. 東洋食品工業短大・東洋食品研究所 研究報告書. 8: 375-382.
- 日本芝草学会 (2015) 日本芝草学会賞受賞者紹介. 芝草研究. 43 (2): 202.
- Potter, D.A. (2005) Prospects for managing destructive turfgrass insects without protective chemicals. Int. Turfgrass Soc. Res. J. 10: 42-54.
- 作物分析法委員会 (1975) 無機成分分析法. 栄養診断のための栽培植物分析法. pp. 73-86. 養賢堂. 東京.
- Schroder, L. J., T.C. Willoughby, R.B. See, and B.A. Malo (1989) The chemical composition of precipitation, dew and frost, fog in denver, Colorado. Atmospheric Deposition, IAHS Publ. No.179: 83-90.
- Settle, D. and T. Sibicky (2012) Tree leaves largely down: 70s felt nice, needed rain continues, dollar spot went crazy and Tim's dollar spot susceptibility of bentgrass in fall. Scouting report. October 26: 1-10.
- Skogley C.R, M.F. Robinson, and L.A. Briman (1991) Registration of 'Providence' creeping bentgrass, Crop Sci. 31: 1701-1702.
- 谷 利一 監訳, 田中明美 訳 (1995) 芝草病害概説, 改訂第2版. pp. 15-16. ソフトサイエンス社. 東京.
- 反保宏行・谷 利一・河野悦子 (1989) ベントグラスターフに発生するダラースポットについて. 芝草研究. 17 (2): 40-48.
- 武内康宏・懸和一・河鍋征人・山路博之・井上安正・佐藤勝也・川本康博 (2008) ベントグリーンにおけるアントシアニン斑形成要因の解析とその軽減策, 第一報 アントシアニン系統と非アントシアニン系統の生育特性. 芝草研究. 36 (2): 95-99.
- Toubakaris, M., and B. McCarty (2000) Heat stress separates old and new bentgrass. Golf Course Management. 68 (7): 49-53.
- Tukey, H.B.Jr., H.B. Tukey, and S.H. Whittwer (1958) Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radio-isotopes. Proc. Amer. Soc. Horticult. Sci. 71: 496-506.
- Tukey, H. B and J. V. Morgan (1963) Injury to foliage and its effect upon the leaching of nutrients from above-ground plant parts. Physiol. Plant. 16: 557-564.
- Tukey, H.B., Jr., and R.A. Mecklenburg (1964) Leaching of metabolites from foliage and subsequent reabsorption and redistribution of the leachate in plants. Am. J. Bot. 51: 737-742.
- Tukey, H.B., Jr. (1966) Leaching of metabolites from above-ground plant parts and its implications. Bull. Torrey Bot. Club. 93: 385-401.
- Tukey, H.B., Jr. (1970) The Leaching of substances from plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 21: 305-324.
- 梅本清作・家寿多正樹・真行寺 孝・青木孝一 (1995) 尿素施用によるベントグリーンにおけるダラースポット病の防除効果. 芝草研究. 24 (1): 13-17.
- 梅本清作 (1997) 芝の主要病害, コウライシバ葉腐病, カーブラリア葉枯病, ベントグラスダラースポット病の人工接種法. 芝草研究. 26 (別1): 54-55.
- Waddington, D. V., E.L. Moberg and J. M. Duich (1972) Effect of N source, K source, and K rate on soil nutrient levels and the growth and elemental composition of Pennncross creeping bentgrass, *Agrostis palustris* Huds. Agron. J. 64: 562-566.
- Waddington, D.V., T.R. Turner, J.M. Duich, and E.L. Moberg (1978) Effect of fertilization on Pennncross creeping bentgrass. Agron. J. 70: 713-718.
- Warnke, S.E. (2003) Creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera* L.) . Turfgrass biology, genetics, and breeding. pp. 175-185. John Wiley and Sons, Inc.
- Liu, X. and B. Huang. (2003) Mowing height effects on summer turf growth and physiological activities for two creeping bentgrass cultivars. Hort. Sci. 38 (3): 444-448.
- 柳 久 (2002) ニューベントグラス－その特性とグリーンの管理－. pp. 3-5. ソフトサイエンス社. 東京.
- Yapa, P. A. J. (1986) Changes of some membrane-associated enzyme activities and degradation of membrane phospholipids in cucumber roots due to Ca^{2+} starvation. Plant Cell Physiol. 27: 223-232.
- 山本友英 (1987) カリウムの吸収と生理作用. 農業技術体系. 土壌肥料編. pp. 85-97. 農山漁村文化協会. 東京.
- Zhang, H., Wu, H., Yu, Q., Wang, Z., Wei, C., Long, M., Kattge, J., Smith, M., and Han, X. (2013) Sampling date, leaf age and root size: Implications for the study of plant C:N:P stoichiometry. PLoS One. 8 (4): e60360.

Summary

Breeding of a creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) cultivar 'CY-2' and characteristics of summer bentgrass decline of 'CY-2' turf

Masahiro KATO

This study summarizes the breeding process of a creeping bentgrass cultivar 'CY-2' and the growth and performance characteristics of 'CY-2' turf under limited or non fungicide conditions in summer. The results obtained were as follows.

1. Breeding of a creeping bentgrass cultivar 'CY-2'

146 clones of creeping bentgrass were originally selected for disease resistance, insect resistance, low anthocyanin appearance during the winter periods and heavy summer heat stress based on pesticide-free conditions. 9 parental clones were finally selected from the 146 primarily selected clones based on resistance to two major diseases, dollar spot disease and brown patch. Selection was also based on low anthocyanin appearance during the winter. One other clone, previously selected for its resistance to these diseases and low anthocyanin appearance, was added to 9 clones to create 3 polycross groups for breeding. The degree of resistance to the two major diseases and levels of anthocyanin appearance were examined in experimental polycross group cultivars CY- I, II, and III. Each group consisted of 5 or 6 parental clones according to the turf characteristics. In comparison to existing cultivars, 'L-93', 'PennA-1', 'PennA-4', 'Putter' and 'Penncross' resistance to these diseases in the experimental polycross groups were higher, and anthocyanin appearance during winter periods in the experimental polycross groups were lower, respectively. 'CY-2', consisting of 6 clones of CY-II and one clone of CY- III, was evaluated to be the best new bred cultivar in total performance in regards to low susceptibility to the major two diseases, low anthocyanin appearance.

2. The characteristics of growth and the mineral nutrient concentration in the leaf tissue of 'CY-2' in summer

Putting quality tended to be high in order of 'CY-2', 'L-93' and 'Penncross' grown as putting green under limited or non fungicide conditions in summer. The calcium (Ca) and magnesium (Mg) concentrations of 'Penncross' were distinctly the highest of the three cultivars, 'CY-2', 'L-93' and 'Penncross,' and the K concentrations of 'CY-2' and 'L-93' tended to be high. The K/Mg ratio and K/Ca ratio tended to be high in order of 'CY-2,' 'L-93,' and 'Penncross,' and this tendency was consistent among the years.

3. The relationship between mineral concentration, electrical conductivity (EC) and pH in the late fall dew water on the 'CY-2' turf

The additional effects of matrix modifiers on the measurement of the mineral elements in late fall dew on two creeping bentgrass cultivars by atomic spectrometry method were observed. The calcium carbonate as matrix modifier for the determination of potassium (K) showed higher values than without modifier. The lanthanum chloride as matrix modifiers for the determination of Ca showed significantly higher values than without modifier. The lanthanum chloride as matrix modifiers for the determination of Mg showed no effects on them. However, the concentration of all minerals in

the dew water of 'Pennncross' was higher than 'CY-2'. The co-relationship between EC and all mineral concentration values with matrix modifiers was significantly high.

4. The influence of disease injury and fungicide application on mineral concentration in the dew water on the 'CY-2' turf

The number of spots caused by the dollar spot disease in the non fungicide treated plot was larger and the rate of disease area of the brown patch was higher than in the fungicide treated plot. The number of spots caused by the dollar spot disease in 'Pennncross' was greater than the number of spots in 'CY-2'. The EC of the dew water adhering to the leaf surfaces of the non fungicide treated plot showed the tendency to be higher than EC in the fungicide treated plot. Moreover, the EC of 'CY-2' tended to be lower than EC of 'Pennncross'. K, Ca, and Mg concentration in dew adhering to the turf surface in the non fungicide treated plot were all higher than the fungicide treated plot, and their concentrations in dew water from 'Pennncross' were higher than the values of 'CY-2'. From these analysis results, concentrations of K, Ca, and Mg leaching to adhering dew on the turf surface of the creeping bentgrass differ among cultivars. Moreover, it was suggested that the leaching increases in connection with the damage of stem and leaf by diseases occurrence.

5. The relationship between turf quality, EC of dew on turf surface and electrolyte leakage (EL) from leaf blade of 'CY-2' in summer

The number of spots caused by the dollar spot disease and the turf area damaged by brown patch in summer were fewer in 'CY-2' than in 'Pennncross'. The turf quality of 'CY-2' was also higher than that of 'Pennncross'. The EC of dew water on the turf surface of 'CY-2' were constantly lower than those of 'Pennncross'. The difference between EC in the two creeping bentgrass cultivars may be related to the difference between the turf qualities. Differences in EL from the leaf blade of the cultivars were not significant in 'CY-2'. The Mg and Ca concentrations of the shaking extract solution and the leakage of these components from the leaf blade with a low cutting height of 3.7 mm were lower than those in 'Pennncross'. This explains the difference in EC, EL, and turf quality between the two creeping bentgrass cultivars. The deterioration of turf in summer causes increased rate of mineral leakage from the leaves, and this can be detected by the increased EC of dew water on the turf surface or higher Mg and Ca concentrations of the shaking extract solution of the leaf blade with a low cutting height. These factors help us in characterizing the differences in heat and disease tolerance between cultivars.