

イネ科牧草の表面播種における立ち上がり型種子の発芽特性

誌名	日本草地学会誌
ISSN	04475933
著者	森田, 脩 江原, 宏 後藤, 正和
巻/号	43巻3号
掲載ページ	p. 231-236
発行年月	1997年10月

イネ科牧草の表面播種における立ち上がり型種子の発芽特性

森田 脩・江原 宏・後藤正和・荻原さつき

三重大学生物資源学部 (514 津市上浜町 1515)
Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihama-cho, Tsu, 514 Japan

受付日: 1996年7月8日/受理日: 1997年6月16日

Synopsis

Osamu MORITA, Hiroshi EHARA, Masakazu GOTO and Satsuki OGIHARA (1997): Germination Characteristics of Grass Seed Risen on the Seed-bed Surface. *Grassland Science* 43, 231-236.

Rising behaviors during early germination characteristics of seeds were investigated to attain some informations for better seedling establishment of surface-sown herbage grasses. Tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb. 'Kentucky 31 fescue') and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. 'Sakurawase') were used for the examinations. Seeds of both species were put lemma-side down on the filter paper and germinated in constant 25°C. The timing of three germination phases as coleorhiza appearance, coleorhiza hair emergence and rooting of both species were observed both with rising behavior (RB) seeds and exposed-root (EB) seeds. The coleorhiza size, and number and maximum length of coleorhiza hairs of RB and EB seeds were also examined at the rooting time.

In both species, coleorhiza thickness, number and length of coleorhiza hair in RB were significantly larger than those in EB. In the germination process of both species, coleorhiza hair of RB emerged earlier, while the rooting time was later than those of EB. Tall fescue, which has higher percentage of RB seeds as compared with Italian ryegrass, had longer adhering duration because of the late rooting. These facts suggest that the firm adhesion of coleorhiza hairs of RB may be achieved with its longer growing and adhering time together with its larger number and length in each species.

Key words: Coleorhiza hairs, Germination, Germinating behavior, Italian ryegrass, Surface-sowing, Tall fescue.

緒 言

土壌表面で発芽を開始したイネ科牧草種子は、まず根鞘毛が土壌粒子に固着して根鞘部を地表面に固定する。その時、根鞘毛による固着が強力であると、種子はその頂端部を持ち上げ、ついで種子根が土壌中へ直接進入する立ち上がり型の発芽行動をとり、固着が弱いと、種子根が地表面に露出したまま根上がり型の発芽行動型を示す。立ち上がり型種子で一部は第49回発表会(1994年9月)において発表。

は、地表面に種子根が露出せず、初期生育も早い³⁾ので、表面播種における定着の安定化に有利な形質であると考えられる。既に、立ち上がり型の発芽行動は、根鞘毛固着以後発根が開始されるまでの間に現れるものであること、根鞘毛の固着力の強弱と密接に関係して発現すること、しかも固着力は根鞘毛の数、さらに根鞘毛が攪んだ土壌粒子量と正の相関があることなど、いくつかの興味深い特性が明らかになっているものの^{1,2,4,6)}、その発現経過の詳細はなお解明不十分である。

一方、根上がり型の発芽行動をみると、立ち上がり型種子の割合が少ないイタリアンライグラスでは、一旦は立ち上がりながら、発根を契機に根上がり型に移行する種子の多いことが特徴的である⁴⁾。このような発芽経過を示す種子は根鞘毛に固着する土壌粒子が少量であり、土壌粒子を十分に攪む前に発根が始まるためと推察される。また、大多数が根上がり型になるライムギでは、根鞘毛の発生と発根はほぼ同時に起っており、根鞘毛が土壌粒子を攪むに至る時間的猶予は殆ど見られない⁶⁾。これらの事実は、根鞘毛が地表面の土壌粒子を攪むためには、発生数や長さに加えて、発根前の根鞘毛発生量およびその固着持続時間も重要な要因として関与することを示唆している。従って、各々の発芽行動型の発現過程を経時的に追跡することによって、立ち上がり機構解明の手がかりを得ることが可能であると期待される。

そこで本研究では、イネ科牧草種子の発芽過程における立ち上がり機構解明の一環として、立ち上がり型種子が多数出現するトールフェスクと根上がり型種子の出現が多いイタリアンライグラス⁴⁾を用い、両草種の立ち上がり型および根上がり型種子について、根鞘毛の発生開始と種子根出現時間ならびに根鞘毛の発生数とその伸長量を比較した。

材料および方法

実験1 各発芽行動型における根鞘毛の発生開始および発根の時間測定

ろ紙上にトールフェスク(品種:ケンタッキー31フェスク、以後TFと略記)、およびイタリアンライグラス(品種:サクラワセ、以後IRGと略記)を播種して25°Cの定温条件で発芽させた。根鞘出現から種子根出現までの間、種子1粒ごとに3時間間隔で根鞘毛の発生と発根の有無を調査した。

なお、本実験における発芽行動型の決定は、先に行った土壌表面における発芽行動の場合²⁾に準じて行った。すなわち、

根鞘毛が固着後立ち上がる種子の内、発根後も根鞘部がろ紙に密着し、種子根がろ紙上を伸長する種子は立ち上がり型とし、全く立ち上がらない種子、一旦は立ち上がるものの、発根後、根鞘部がろ紙から離れる種子ならびに種子根の伸長に伴って倒れてしまう種子は一括して根上がり型に分類した。この基準に従って、TFは立ち上がり型56個体、根上がり型58個体の計114個体、IRGは立ち上がり型9個体と根上がり型29個体の計38個体を調査材料とした。

実験2 根鞘毛の生長過程および各発芽行動型の根鞘形態

TFとIRGを実験1と同じ条件で発芽させ、殆どの発芽種子の種子根に根毛の発生を確認した時点、即ち、TFでは根鞘出現から30時間後まで、IRGでは24時間後まで、それぞれ3時間ごとに10粒ずつFAA液で固定し、それぞれの根鞘毛数及び最長根鞘毛長を実体顕微鏡下で測定した。なお根鞘出現から根鞘毛発生初期までの段階では、発芽行動型は判別は不可能なので、これ以後の段階でも両者を区別せずに測定した。

次に、両草種とも、立ち上がり型と根上がり型が確定後、根毛が未発生の時点で各10個体について、根鞘毛数、最長根鞘毛長および根鞘の長さ×幅×厚さを測定した。

実験3 根鞘と置床面との距離が立ち上がり型に及ぼす影響

出現したTFの根鞘と置床面との距離を変えるため、第1図のように、外穎の下側にろ紙を1, 2, および3枚重ねた3処理、ならびに根鞘が直接置床面に接触するようにした対照区の計4処理区を設け、各100粒ずつ2反復置床した。発芽は25°Cの定温条件で行い、各区の立ち上がり型個体数を調査した。なお、置床面と種子外穎基部の距離は、ろ紙1枚区が0.38mm、2枚区が0.75mm、3枚区が1.13mmであった。

結果および考察

1. 各発芽行動型種子における根鞘毛の発生開始および発根時期

最初に、発芽行動型の違いによる根鞘毛の発生開始と発根の関係について経時的に検討した。置床から根鞘出現までに要する時間は、両草種とも立ち上がり型種子の方が短い傾向は見られるものの、有意差は見られなかった。そこで根鞘出

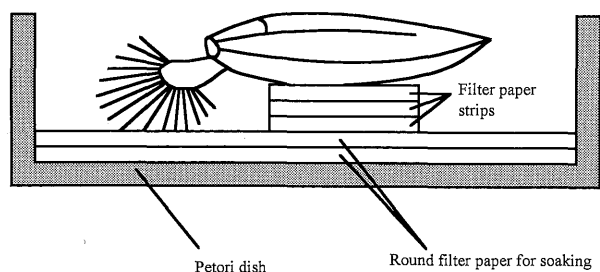


Fig. 1. Germinating scheme of tall fescue seed to keep different distance between coleorhiza and soaking filter paper. The distances were set by different number of piled filter paper strips. The distance were 0, 0.38, 0.75 and 1.13 mm, when piled with 0, 1, 2, and 3 strips, respectively.

現時以後、3時間ごとの各草種の根鞘毛発生、および種子根出現個体数の推移を発芽行動別に第2図に示した。また、第1表には根鞘毛発生開始時及び発根時の根鞘出現後経過時間を平均値で示した。両草種とも根鞘出現3時間後には根鞘毛の発生が見られた。平均根鞘毛発生開始時間は、立ち上がり型種子ではTFが根鞘出現後8.9時間、IRGが4.3時間であるのに対し、根上がり型種子ではTFが10.4時間、IRGが6.9時間となり、両草種ともに立ち上がり型種子がやや早かった。

発根時間の個体分布を見ると、両草種とも立ち上がり型種子の方が発根が遅く、かつ集中的であった。そして、平均発根時間は、TFでは立ち上がり型種子は28.7時間と、根上がり型種子の21.4時間に比べて、7時間以上長く、発根が明らかに遅かった。また、IRGでも、立ち上がり型種子の発根は根上がり型種子に比べて約2.5時間遅かったが、その差は有意ではなかった。

発生した根鞘毛は置床面に固着するので、根鞘毛の発生を最初に確認した時から発根までの経過時間を根鞘毛固着時間と規定すると、両草種とも根上がり型種子の中には根鞘毛の発生と発根がほぼ同時に起こる根鞘毛固着時間ゼロの個体が見られたが、立ち上がり型種子では最短の個体でも9時間を示した。平均根鞘毛固着時間は、TFでは立ち上がり型種子の19.7時間が根上がり型種子の13.9時間に対して有意に長く、IRGでも有意差は認められなかったものの立ち上がり型種子は根上がり型種子より5時間長くなっていた。なお、TFはIRGに比較して両発芽行動型とも、置床後における根鞘毛発生開始ならびに発根とも遅かったが、根鞘毛固着時間は約4時間長かった。

両草種の立ち上がり型と根上がり型種子の各々について、①根鞘のみ出現して根鞘毛が未発生の種子（根鞘種子と呼ぶ）、②根鞘毛が発生して未発根の種子（根鞘毛種子）、③種子根が出現した種子（発根種子）の3種類の発芽段階に分け、経時的にその構成割合の変化を示したのが第3図である。TFの立ち上がり型は、根鞘出現後3時間後には、根鞘毛種子が4.3%、6時間後には44.8%、12時間後には89.0%となり、以後90%前後を占めた。発根種子は18時間後に初めて現れた。これに対して、根上がり型種子では、3時間後には根鞘毛種子が18.3%と立ち上がり型種子に比べて多いものの、6時間後以降減少した。これは6時間後に既に発根種子が現れ、以後発根種子の割合が増加することによるものであった。

IRGの立ち上がり型種子では、3時間後には根鞘毛種子が過半数を占め、6時間後には100%に達した。発根種子が最初に現れたのは15時間後であった。これに対して、根上がり型種子では根鞘毛種子は3時間後に24.1%、6時間後には62.1%にまで増加するものの、9時間後には発根種子が現れ、発芽の比較的初期段階から発根種子の割合が多数を占めた。

なお、本実験に供試したサクラワセはIRGの中でも根上がり型が最も多い品種で⁶⁾、そのため観察可能な立ち上がり型種子が9粒と少数であったが、TFの結果と同様の傾向を示した。

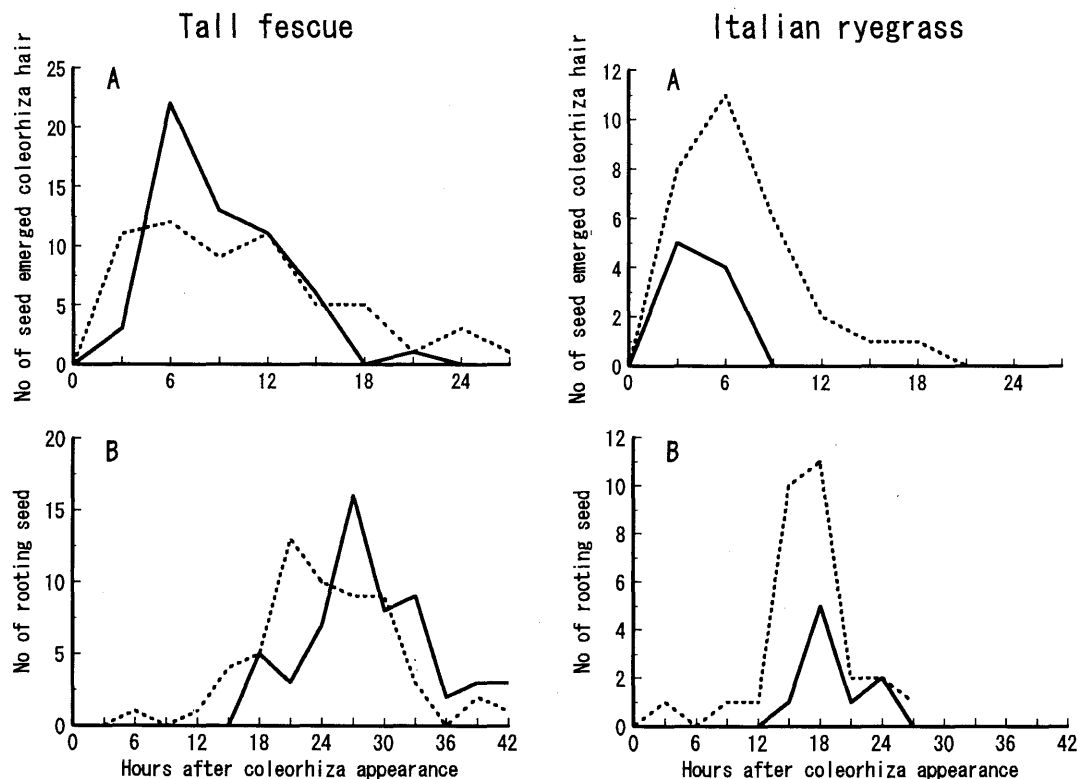


Fig. 2. Changes in number of seeds with recently emerged coleorhiza hairs (A), and seeds just rooted (B) in each of rising (—) and exposed-root types (.....) of tall fescue and Italina ryegrass sown on a filter paper.

Table 1. Mean hours elapsed from the phase of coleorhiza appearance to the phase of coleorhiza hair emergence or to the rooting in each of rising and exposed-root seeds.

Required hours	Tall fescue		Italian ryegrass	
	Rising seed	Exposed-root seed	Rising seed	Exposed-root seed
Coleorhiza hair emergence (a)	8.9	10.4	4.3	6.9
Rooting (b)	28.7**	21.4	19.3	16.9
Growing and adhering duration (c ¹)	19.7**	13.9	15.0	10.0

¹) c=b-a.

** : Significant at 1% level.

2. 各発芽行動型種子における発根時の根鞘毛発生量の比較

発芽行動型の違いによる根鞘毛の発生数、根鞘毛長および根鞘の大きさについて比較した。発根時におけるTFとIRGの最長根鞘毛長、根鞘毛数ならびに根鞘の大きさを発芽行動型別に第2表に示した。根鞘の大きさは、両草種ともに出現21時間後頃まで増大し、その後は形態的な変化は見られなくなったが、この生長停止の時期はTF種子では発根前に、IRGでは発根後であった。両草種の発根時における根鞘形態を比較すると、立ち上がり型種子は根上がり型種子に比べて根鞘の長さとは差は見られないものの、有意に厚くなっていた。発根時の根鞘毛は、TFの立ち上がり型種子では、発生数243本、長さ1.97mmであり、根上がり型種子の170

本、1.46mmに比べて有意に大きな値を示した。また、IRGでも立ち上がり型種子の値がそれぞれ有意に大であった。

ここで、草種別に根鞘出現開始から種子根の根毛発生開始時までの根鞘毛発生数と最長根鞘毛長の推移を示したのが第4図である。根鞘毛数は、TFが4本から287本へ、IRGが27本から417本へと、また、根鞘毛長は、TFが0.06mmから2.53mmへ、IRGが0.17mmから1.66mmへと伸長し、両草種とも、発根までの間の根鞘毛の数、および長さの増大は顕著であった。

表面播種においては、発根を開始したイネ科牧草種子の根鞘毛が固着して根鞘部を地表面に固定しようとする力（固着力）と、種子根の先端が土壌中に進入しようとする力が、相反する方向へ作用する。この時、根鞘毛の固着力が勝ると種子

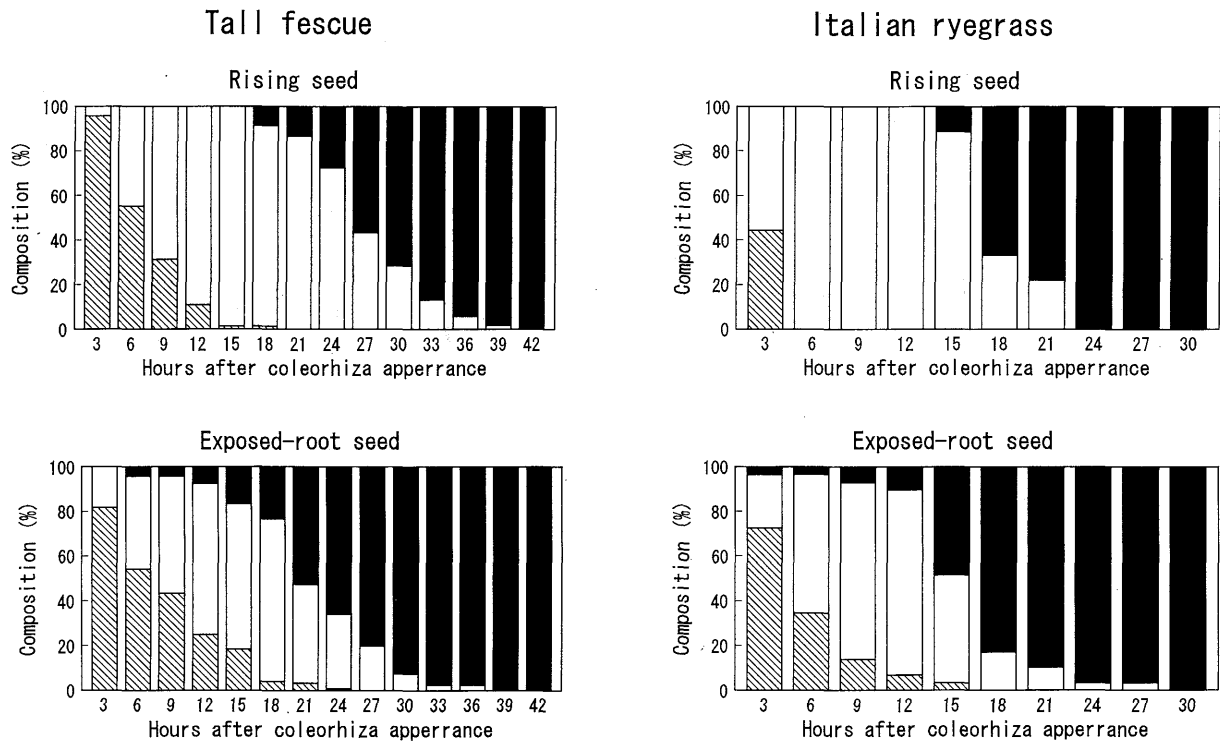


Fig. 3. Changes in composition of each germination phase of tall fescue and Italian ryegrass seeds after coleorhiza appearance.

Germination phases: <▨> coleorhiza appearance, <□> coleorhiza hair emergence and <■> rooting. Upper line is of a rising type seed, and bottom one is exposed-root type seed.

Table 2. Coleorhiza sizes, number and maximum length of coleorhiza hairs of rising and exposed-root seeds at the rooting time.

		Tall fescue		Italian ryegrass	
		Rising seed	Exposed-root seed	Rising seed	Exposed-root seed
Coleorhiza size	Length (mm)	1.05	0.99	0.80	0.69
	Width (mm)	0.61	0.62	0.74	0.76
	Thickness (mm)	0.67*	0.54	0.86*	0.73
Coleorhiza hair	Number	243**	170	298**	227
	Maximum length (mm)	1.97**	1.46	1.23**	1.01

** , * : Significant at 1% and 5% levels, respectively.

根が土壤中へ進入する。また、根鞘毛は発生数・長さが増加するほどその固着力も増大するので²⁾、発根後も、根鞘毛がその数と長さを増大させる時には(第4図)、それに伴って固着力も引き続き増大するものと推察される。一方、進入した種子根に根毛が発生して土壌粒子に固着を始めると、根鞘毛の固着力に根毛の固着力が加わるので、芽生えを固定する力は急激に大きくなる⁵⁾。以上のような発芽経過をふまえると、種子根に根毛が発生するまでを根鞘毛固有の固着として評価するのが妥当であり、根毛発生開始時に根鞘毛の固着力はほぼ最大値に達すると考えられる。そこで本研究条件下では、最初の根毛が確認される時点、即ち、TFでは根鞘出現30時間後、IRGでは24時間後が両草種の根鞘毛が最大の固着能力を発揮する時間と認定できる。第3表には、これら根毛発

生時における根鞘毛数と根鞘毛長に対する発根時における各形質の値の比を求め、それぞれを根鞘毛発生率および根鞘毛伸長率として示した。立ち上がり型種子では根上がり型種子に比べて根鞘毛発生率はTFで約25%、IRGで17%、また、根鞘毛伸長率では、TFで約20%、IRGで約13%、それぞれ高い値を示した。このように立ち上がり型種子で発根の時期が遅いということは、根鞘毛が最大の固着力を発揮する発生数と長さには達した段階で種子根の進入圧力に対抗できることを意味している。ただし、根上がり型種子は根鞘毛の発生数、長さともに劣ったが、これは、発根の時期が早いことと連動して低く見積もられている可能性が強く、本来の発生能力には大差はないことも考えられ、この点の検討も必要であろう。

3. 根鞘毛の固着と立ち上がりとの関係

播種7日後における、TFの根鞘と置床面の距離の違いによる発芽行動型の変化を第4表に示した。出現した根鞘が直ちに置床面に接触することが可能な対照区では立ち上がり型の割合が55%であるのに対し、根鞘腹部が根鞘の厚さにほぼ匹敵する距離だけ置床面から離れた2枚区の発芽種子は殆ど根上がり型になり、根鞘腹部の置床面からの距離と立ち上がり率との間には負の相関関係が見られた ($r = -0.956$, $P < 0.05$)。根鞘毛が置床面へ到達する時間を根鞘毛の伸長速度(第4図)と平均発根時間(第1表)から算出すると、根鞘の

厚さにほぼ相当する2枚区(0.75 mm)の場合、根鞘毛が伸長を開始して置床面に到達するまでに約10時間を必要とすることになる。この時間に立ち上がり型種子における根鞘毛発生までの経過時間8.9時間を加えると、根鞘毛の先端が置床面に到達するのは置床約19時間後となる。その結果、発根に至るまでに根鞘毛が固着を持続することができる時間は10時間程度になり、出現直後に根鞘が置床面に接触している場合の固着時間19.7時間に比べて大幅に短縮されていたことになり、このことが立ち上がり型種子の減少につながったものと推察される。この結果は、根鞘毛そのものは同じ程度伸長した場合でも、根鞘部が地表面から離れるなどして固着持続時間が短縮されると固着の状態が悪化することを示すものであり、固着強度(固着力)には固着時間の長短も一要因として関与することを示すと共に、播種後の鎮圧の効果を裏付ける結果と考える。

以上の一連の実験では、立ち上がり型と根上がり型の発芽行動型別に発芽種子の根鞘の形態、根鞘毛と根の生長過程を経時的に追跡することにより、両者の定着機能の違いを比較・検討した。その結果、立ち上がり型種子の特徴の第一は、根鞘が厚く、根鞘毛が長く、多数発生すること、第二は、根鞘出現後、根鞘毛が早期に発生し、発根は逆に遅く、従って、発根までに根鞘毛の発生・伸長・固着の時間が長いことであった。同一品種においても、種子によって根鞘毛数以外に、根鞘の出現後における、根鞘毛の発生開始、発根等の速度に差が認められ、これらのことが定着に重要な意味を持つことが明確となった。即ち、根鞘毛発生から発根までの経過時間(根鞘毛の固着時間)の長短は、根鞘毛の発生数とその伸長を

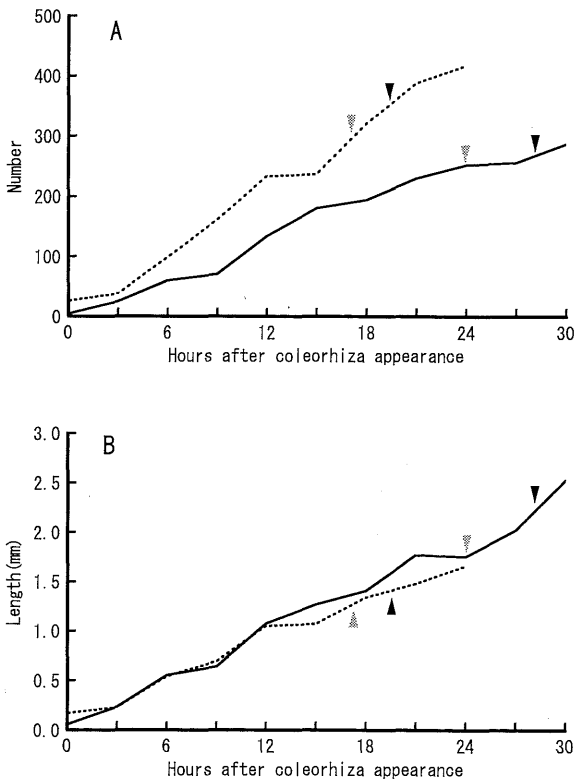


Fig. 4. Changes in number (A) and maximum length (B) of coleorhiza hairs of tall fescue (—) and Italian ryegrass (·····) seeds sown on the filter paper. Arrows show the mean hours elapsed after coleorhiza appearance; \blacktriangledown : rising seed; ∇ : exposed-root seed.

Table 4. Relation between seeding height above seed bed surface and germinating behavior of tall fescue seeds.

Height above seed bed surface (mm)	Germinating behavior	
	Rising seed (%)	Exposed-root seed (%)
0 (Control)	55	45
0.38	28	72
0.75	5	95
1.13	2	98

Table 3. Emergence¹⁾ and elongation²⁾ rates of coleorhiza hairs in rising and expose-root seeds.

Grass	Coleorhiza hair	Rising seed	Exposed-root seed
Tall fescue	Emergence rate	84.4 (%)	59.2 (%)
	Elongation rate	77.9	57.7
Italian ryegrass	Emergence rate	71.5	54.4
	Elongation rate	74.1	60.8

¹⁾ Ratio of coleorhiza hair number at the rooting time to that at the root hair emergence.

²⁾ Ratio of maximum coleorhiza hair length at the rooting time to that at the root hair emergence.

通して固着力の強度に直接影響を及ぼすと考えられる。TFがIRGに比べて根鞘毛の固着力が強く、立ち上がり型種子が高率で出現するのは、発根の遅いTFでは根鞘毛の固着時間が長く確保されるため、その間における根鞘毛の数と長さの増大が主な要因として指摘できる。

発芽に関連する諸形質の個体変異は避けられないことであるが、立ち上がり型種子の発現にとって根鞘出現から発根までの時間が長いことが有利に作用するとの結果が得られた。このことは、播種後覆土される慣行的な作物栽培では、発芽後（根鞘出現後）の速やかな発根は、一般的に好ましい現象と考えられているが、表面播種が主体となる牧草の定着にとっては、根鞘毛の固着時間確保の観点からは必ずしも望ましい性質でないことが示されたことは興味深い点である。

以上のように、本研究では立ち上がり型種子における根鞘毛の発生、および発根のタイミングと固着力との間には、一定の関係が推察されたが、外部形態的な観察だけではなぜ立ち上がるかの因果関係を示す上で不十分であり、さらに内部形態的特徴からの検討を加えて立ち上がり機構の解明に努めたい。

引用文献

- 1) 森田 脩・三石昭三・後藤正和 (1987) 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 1. 根鞘毛の固着と種子の立ち上がりとの関係. 日草誌 33, 256-263.
- 2) 森田 脩・三石昭三・後藤正和 (1989) 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 2. 置床温度がトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) の発芽動態並びにその根鞘毛の固着力に及ぼす影響. 日草誌 35, 1-8.
- 3) 森田 脩 (1990) 不耕起草地造成におけるイネ科牧草の発芽・定着に関する研究. 三重大生物資源学部紀要 4, 1-72.
- 4) 森田 脩・三石昭三・後藤正和・福田直樹 (1990) 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 4. 発芽動態と根鞘毛の固着力の草種間比較. 日草誌 36, 1-8.
- 5) 森田 脩・江原 宏・後藤正和 (1994) 表面播種におけるイネ科牧草の発芽・定着 6. 種子根が土壌中に進入を始めた寒地型牧草幼苗の引き抜き抵抗力について. 日草誌 40, 198-204.
- 6) MORITA, O., H. EHARA and M. GOTO (1997) Anchoring function of coleorhiza hairs and seedling establishment of surface-sown forage grasses. *Grassland Science* 42, 277-282.

要 旨

森田 脩・江原 宏・後藤正和・荻原さつき (1997) : イネ科牧草表面播種における立ち上がり型種子の発芽特性. *Grassland Science* 43, 231-236.

表面播種におけるイネ科牧草立ち上がり型種子の発芽特性を明らかにする目的で、トールフェスク (品種ケンタッキー 31) とイタリアンライグラス (品種サクラワセ) を 25°C 定温条件のろ紙上で発芽させ、草種別に立ち上がり型と根上がり型種子間の根鞘毛の発生開始時間、発根時間および発根時におけるの根鞘形態、根鞘毛の数と長さを比較した。両草種とも、立ち上がり型種子は根上がり型種子に比べて、根鞘が厚く、長い多数の根鞘毛が早期に発生し、逆に発根は遅く、根鞘毛が固着できる時間が長く確保されていた。また、立ち上がり型種子の割合が高いトールフェスクはイタリアンライグラスに比べて発根が遅く、根鞘毛の固着が長時間持続した。これらの結果から、草種内・草種間ともに立ち上がり型種子の堅固な固着は、根鞘毛の数・長さに加えてその固着時間の長さに依拠することが示された。

キーワード: イタリアンライグラス, 根鞘毛, トールフェスク, 発芽, 発芽行動, 表面播種.