

大規模飼料作物栽培における草種の組み合わせ技術の開発

(飼料用稲ーライムギ二毛作における安定多収なサイレージ調製体系の確立)

齋藤憲夫、佐田竜一、増山秀人¹⁾、齋藤栄、九石寛之²⁾、上野源一³⁾、酒向奈都美

1)現 農業大学校、2)現 農政部生産振興課、3)現 河内農業振興事務所

要約

栃木県北部で飼料用稲ーライムギ二毛作体系を実施する場合、夢あおばを6月下旬に移植し、春一番又はハルミドリを11月初旬に播種することで安定多収が期待できると考えられた。調製にあたっては予乾することによって良好なロールペールが調製可能であると考えられた。

また、ライムギの出穂期を予測する場合、日数で予測するよりも高い精度で予測可能なノンパラメトリック DVR 法を用いたライムギの生育予測モデルを開発した。

試験Ⅰ 飼料作物の品種選定及び作期移動試験

目的

栃木県北部において飼料用稲の裏作として飼料用作物を導入する場合、冬作飼料用作物の収穫期には水稻の播種・移植作業が、水稻の収穫期には冬作飼料用作物の播種作業が重なるため、作業ピークの分散化・平準化を図るために冬作としてライムギの導入することが注目されている。

そこで、安定多収となる栽培体系を検討するために、飼料用稲とライムギの品種組合せや作付時期について試験を実施した。

試験Ⅰ-1 飼料用稲の品種選定及び作期移動試験

試験方法

(1) 試験ほ場

那須町農家ほ場(表層多腐植質多湿黒ボク土)

(2) 供試品種

べこあおば(早生)、夢あおば(早生)、クサホナミ(晩生)

(3) 移植時期

6月中旬、6月下旬、7月上旬

(4) 栽培年

平成22年、平成23年、平成24年、平成25年、平成26年

(5) 施肥及び栽培条件

農家慣行(N-P₂O₅-K₂O(化成肥料)4.8-8.0-8.8kg/10a、
熔リン50kg/10a、苦土炭カル100kg/10a)

(6) 調査項目

ア 生育調査

出穂期及び黄熟期

イ 収量調査(黄熟期に収穫)

生草収量、乾物収量及び乾物率

結果

生育調査の結果は表1のとおりであった。平成22年度は11月の凍霜害により7月上旬移植のクサホナミが黄熟期到達前に枯死し、平成26年度は9月の低温による不稔が生じたほか、全体的に黄熟期到達が遅延した。

べこあおばは平成26年度年を除くと、全ての移植時期で、10月中旬までに収穫適期である黄熟期に到達した。夢あおばは、全ての栽培年度において、6月中旬及び下旬の移植で10月中旬までに黄熟期に到達した。クサホナミは、6月中旬の移植であっても、10月中旬までに黄熟期に到達しない場合があった。

収量調査の結果は表2のとおりであり、5か年平均の乾物収量は、全ての品種で6月下旬移植の場合が最も高く、べこあおばが1,311kg/10a、夢あおばが1,496kg/10a、クサホナミが1,353kg/10aであった。特に、夢あおば及びクサホナミでは、平成24年度以外の栽培年度において6月下旬移植の乾物収量が最も高く、平成24年度においても最も収量が高い6月中旬移植と同程度であった。

表1 飼料用稲の生育調査結果

栽培年度	移植日	べこあおぼ		夢あおぼ		クサホナミ	
		出穂期 ¹⁾	黄熟期 ¹⁾	出穂期 ¹⁾	黄熟期 ¹⁾	出穂期 ¹⁾	黄熟期 ¹⁾
平成22年	6/21	8/27 (67)	9/29 (100)	9/05 (76)	10/08 (109)	9/10 (81)	10/18 (119)
	6/28	8/29 (62)	10/05 (99)	9/05 (69)	10/18 (112)	9/11 (75)	10/18 (112)
	7/05	9/06 (63)	10/18 (105)	9/14 (71)	11/11 (129)	9/13 (70)	— ²⁾
平成23年	6/15	8/27 (73)	9/27 (104)	8/25 (71)	9/25 (102)	9/06 (83)	10/08 (115)
	6/24	8/30 (67)	9/29 (97)	8/29 (66)	9/28 (96)	9/08 (76)	10/16 (114)
	7/05	9/05 (62)	10/14 (101)	9/05 (62)	10/13 (100)	9/13 (70)	10/16 (103)
平成24年	6/19	9/03 (76)	10/02 (105)	8/28 (70)	10/02 (105)	9/11 (84)	10/15 (118)
	6/29	9/05 (68)	10/12 (105)	9/03 (66)	10/09 (102)	9/16 (79)	10/19 (112)
	7/10	9/11 (63)	10/15 (97)	9/10 (62)	10/15 (97)	9/22 (74)	10/19 (101)
平成25年	6/18	8/25 (68)	9/30 (104)	8/27 (70)	10/02 (106)	9/05 (79)	10/10 (114)
	6/27	8/31 (65)	10/06 (101)	9/03 (68)	10/08 (103)	9/10 (75)	10/15 (110)
	7/08	9/05 (59)	10/10 (94)	9/10 (64)	10/15 (99)	9/18 (72)	10/23 (107)
平成26年	6/18	9/20 (94)	10/28 (132)	9/04 (78)	10/08 (112)	9/29 (103)	— ³⁾
	6/27	9/13 (78)	10/28 (123)	9/16 (81)	10/17 (112)	10/02 (97)	— ²⁾
	7/08	9/22 (76)	10/31 (115)	9/18 (72)	— ³⁾	10/08 (92)	— ³⁾
5か年平均 ⁴⁾	6/18	9/01 (76)	10/05 (109)	8/30 (73)	10/03 (107)	9/12 (86)	10/12 (117)
	6/27	9/03 (68)	10/10 (105)	9/05 (70)	10/10 (105)	9/15 (80)	10/17 (112)
	7/07	9/09 (65)	10/17 (102)	9/11 (66)	10/21 (106)	9/20 (76)	10/18 (104)

1) ()内は移植日からの到達日数

2) 凍霜害により枯死

3) 黄熟期に達せず(10月30日に収穫)

4) 欠測値を除く平均

表2 飼料用稲の収量調査結果

栽培年度	移植日	べこあおぼ			夢あおぼ			クサホナミ		
		生草収量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	乾物率 (%)	生草収量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	乾物率 (%)	生草収量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)	乾物率 (%)
平成22年	6/21	2,343	766	32.7	4,666	1,766	37.9	2,994	1,281	42.8
	6/28	3,332	1,188	35.6	5,147	2,272	44.1	3,485	1,429	41.0
	7/05	4,354	1,560	35.8	2,680	1,063	39.7	— ¹⁾	1,372	— ¹⁾
平成23年	6/15	3,910	1,439	36.8	3,912	1,369	35.0	3,613	1,189	32.9
	6/24	3,985	1,267	31.8	4,217	1,413	33.5	4,032	1,315	32.6
	7/05	3,844	1,326	34.5	3,523	1,194	33.9	3,469	1,103	31.8
平成24年	6/19	3,029	1,057	34.9	2,912	1,098	37.7	2,856	1,008	35.3
	6/29	2,898	1,223	42.2	2,847	1,079	37.9	2,973	1,008	33.9
	7/10	2,082	789	37.9	2,407	864	35.9	2,626	780	29.7
平成25年	6/18	4,467	1,166	26.1	4,755	1,298	27.3	4,218	1,008	23.9
	6/27	4,879	1,649	33.8	4,891	1,614	33.0	4,784	1,708	35.7
	7/08	4,126	1,502	36.4	4,171	1,485	35.6	3,658	1,251	34.2
平成26年	6/18	3,149	1,162	36.9	3,008	1,084	36.0	3,454	1,098	31.8
	6/27	3,138	1,228	39.1	2,914	1,099	37.7	3,780	1,239	32.8
	7/08	1,535	583	37.9	1,584	632	39.9	2,197	724	32.9
5か年平均 ²⁾	6月中旬	3,380	1,118	33.1	3,851	1,323	34.4	3,427	1,117	32.6
	6月下旬	3,646	1,311	36.0	4,003	1,495	37.4	3,811	1,340	35.2
	7月上旬	3,188	1,152	36.1	2,873	1,048	36.5	2,390	1,046	32.2

1) 凍霜害により枯死したため、生草のデータなし

2) 欠測値を除く平均

試験 I-2 ライムギの品種選定及び作期移動試験

結果

試験方法

- (1) 試験ほ場
那須町農家ほ場 (表層多腐植質多湿黒ボク土)
- (2) 供試品種
春一番 (極早生)、ハルミドリ (極早生)、春香 (晩生)
- (3) 播種時期
10月下旬から11月中旬にかけて3時期を設定
- (4) 栽培年
平成22~23年、平成23~24年、平成24~25年、平成25~26年
- (5) 施肥及び栽培条件
農家慣行 (N-P₂O₅-K₂O (化成肥料) 10-10-10kg/10a、
熔リン 50kg/10a、苦土炭カル 100kg/10a)
- (6) 調査項目
ア 生育調査
 茎立期及び出穂期到達日数
イ 収量調査 (出穂期に収穫)
 生草収量、乾物収量及び乾物率

生育調査の結果は表3のとおりであった。春一番及びハルミドリは全ての播種時期で、4月下旬から5月上旬に収穫適期である出穂期に到達した。同様に、春香では全ての播種時期で、5月上旬から中旬に収穫適期である出穂期に到達した。

播種日から茎立期に到達するまでの日数は、播種時期が遅くなるほど短くなる傾向があったが、茎立期から出穂期に到達する日数には品種や播種時期による違いは見られず、同一栽培年の同一品種であっても播種時期がより遅いものより出穂期が早い結果も散見された。

収量調査の結果は表4のとおりであり、乾物収量は、春一番及びハルミドリでは11月初旬の播種時期で高い傾向があり、春香では11月上旬から中旬の播種時期で高い傾向があった。

表3 ライムギの生育調査結果

栽培年 播種日	春一番		ハルミドリ		春香	
	茎立期 ¹⁾	出穂期 ²⁾	茎立期 ¹⁾	出穂期 ²⁾	茎立期 ¹⁾	出穂期 ²⁾
平成 10/28	3/30 (153)	4/30 (31)	3/27 (150)	4/30 (34)	4/13 (167)	5/10 (27)
22~ 11/04	3/16 (132)	4/26 (41)	3/21 (137)	4/27 (37)	4/10 (157)	5/06 (26)
23年 11/11	3/27 (136)	4/26 (30)	3/28 (137)	4/27 (30)	4/06 (146)	5/09 (33)
平成 10/28	3/23 (147)	4/25 (33)	3/21 (145)	4/24 (34)	4/03 (158)	5/07 (34)
23~ 11/04	3/30 (147)	4/28 (29)	3/27 (144)	4/28 (32)	4/11 (159)	5/13 (32)
24年 11/10	4/01 (143)	5/01 (30)	3/31 (142)	5/01 (31)	4/18 (160)	5/16 (28)
平成 11/01	4/03 (153)	5/08 (35)	3/26 (145)	4/30 (35)	4/13 (163)	5/17 (34)
24~ 11/09	4/01 (143)	5/04 (33)	3/28 (139)	4/30 (33)	4/11 (153)	5/12 (31)
25年 11/15	4/01 (137)	5/10 (39)	3/31 (136)	5/08 (38)	4/18 (154)	5/17 (29)
平成 11/08	3/30 (142)	4/30 (31)	3/29 (141)	4/29 (31)	4/02 (145)	5/08 (36)
25~ 11/13	4/04 (142)	5/02 (28)	4/01 (139)	5/01 (30)	4/05 (143)	5/10 (35)
26年 11/18	4/05 (138)	5/04 (29)	4/05 (138)	5/03 (28)	4/07 (140)	5/12 (35)
播種 ①	3/29 (151)	5/01 (33)	3/24 (147)	4/28 (34)	4/09 (163)	5/11 (32)
期別 ②	3/25 (140)	4/28 (34)	3/25 (141)	4/28 (33)	4/07 (154)	5/09 (31)
平均 ³⁾ ③	3/31 (141)	4/30 (30)	3/29 (139)	4/29 (31)	4/10 (151)	5/11 (32)
④	4/03 (138)	5/07 (34)	4/02 (137)	5/05 (33)	4/12 (147)	5/14 (32)

1) ()内は播種日からの到達日数

2) ()内は茎立期からの到達日数

3) ①は10/28~11/1播種の平均。

同様に②は11/4~11/08の、③は11/09~11/13の、④は11/15~11/18の平均

表4 ライムギの収量調査結果

栽培年	播種日	春一番			ハルミドリ			春香		
		生草 収量 (kg/10a)	乾物 収量 (kg/10a)	乾物 率 (%)	生草 収量 (kg/10a)	乾物 収量 (kg/10a)	乾物 率 (%)	生草 収量 (kg/10a)	乾物 収量 (kg/10a)	乾物 率 (%)
平成	10/28	2,574	458	17.8	2,682	498	18.6	2,466	467	18.9
22～	11/04	3,669	671	18.3	4,273	717	16.8	4,945	856	17.3
23年	11/11	3,895	663	17.0	4,071	635	15.6	4,404	728	16.5
平成	10/28	3,382	629	18.6	2,119	409	19.3	2,125	357	16.8
23～	11/04	3,553	636	17.9	2,696	515	19.1	2,165	368	17.0
24年	11/10	2,927	483	16.5	2,494	419	16.8	2,558	417	16.3
平成	11/01	3,571	625	17.5	5,138	822	16.0	4,607	751	16.3
24～	11/09	3,319	448	13.5	3,266	467	14.3	4,108	682	16.6
25年	11/15	3,523	465	13.2	4,117	597	14.5	4,006	633	15.8
平成	11/08	3,925	545	13.9	3,853	555	14.4	5,631	810	14.4
25～	11/13	3,710	527	14.2	3,714	510	13.7	6,642	839	12.6
26年	11/18	3,921	551	14.1	4,783	704	14.7	5,839	844	14.5
播種 期別	①	3,176	571	18.0	3,313	576	17.4	3,066	525	17.1
	②	3,716	617	16.6	3,607	596	16.5	4,247	678	16.0
平均 ¹⁾	③	3,463	530	15.3	3,386	508	15.0	4,428	666	15.0
	④	3,722	508	13.7	4,450	650	14.6	4,923	739	15.0

1) ①は10/28～11/1播種の平均。
同様に②は11/4～11/08の、③は11/09～11/13の、④は11/15～11/18の平均

考 察

栃木県北部において飼料用稲を栽培する場合、裏作であるライムギの播種作業等を考慮すると、6月下旬までに移植すればおおむね適期収穫が可能であるが、気候によって生育が遅れる場合もあることから、早生品種を利用することが望ましいと考えられた。品種選定や作業期日に比較的自由度があるが、より安定多収を目指すのであれば最も収量性が高い夢あおばを6月下旬に移植することが望ましいと考えられた。

同じくライムギを栽培する場合、11月中旬までに播種すれば品種にかかわらず翌年5月中旬までに収穫適期に達するが、作業ピークの分散を考慮すると極早生種の春一番又はハルミドリを利用することが望ましく、収量の

点から11月初旬に播種することが望ましいと考えられた。

上述の作付を組み合わせさせた体系は、飼料作物との作業が競合する夏作の播種時期に時間の余裕を持てるようになるとともに、平均乾物収量は試験期間全体を通じて年間1,600kg/10a以上と高い収量性が期待できることから栃木県北部で作業ピークの分散を図りながら安定多収を目指すために推奨できると考えられた(図1)。なお、5月中旬から6月中旬に他の作物栽培と作業が競合しないのであれば、冬作としての晩生のライムギを利用することで更に安定多収が達成できる可能性があるため、各農家の実情に応じて作付体系を検討することが望ましいと考えられた。

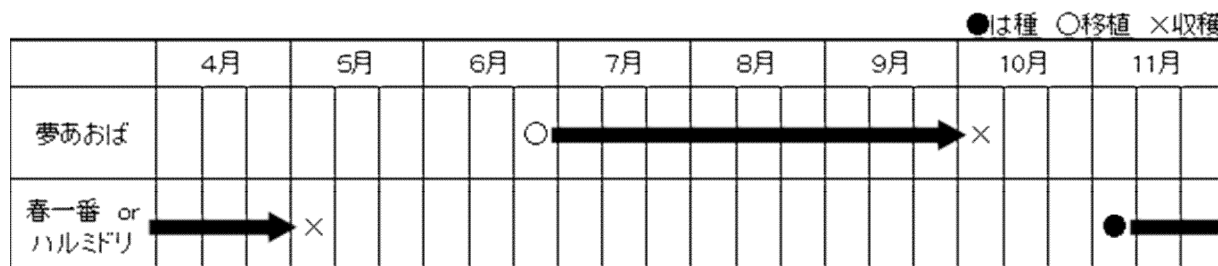


図1 栃木県北部で推奨される飼料用稲-ライムギ二毛作体系

試験Ⅱ サイレージ調製方法の検討

目的

飼料用稲及びライムギの調製方法を確立するため、小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）によってサイレージ調製に適した熟期や添加剤の有無について検討を行った。また、実際の農家における予乾体系によるロールベールサイレージ調製について実証試験を実施し、発酵品質等を確認した。

試験Ⅱ－1 飼料用稲の調製方法と発酵品質に関する試験

試験方法

(1) 供試材料

試験Ⅱ－1の平成22年度栽培において、乳熟期、黄熟期及び完熟期の3つの熟期に採取し、試験に供試した。

(2) サイレージ調製方法

パウチ法により、生育ステージ別に無添加で調製を行ったほか、黄熟期のものについては乳酸菌を添加した調製も行って稲ホールクロップサイレージ（以下、

WCS）とした。

(3) 調査項目

水分、粗タンパク質含量（以下、CP）、TDN含量（酵素法により分析し出口らの式¹⁾から推定）、pH、フリーク評点、V-Score

結果

稲WCSの品種・熟期別の栄養価と発酵品質は表5のとおりであった。全ての品種で熟期が進むにしたがって、水分とCPが低下する傾向がみられ、品種間に大きな差はみられなかった。同様に、pHとV-Scoreは上昇し、フリーク評点は低下する傾向であった。TDN含量はべこあおばでは完熟期が最も高く、夢あおば及びクサホナミでは黄熟期が最も高かった。

稲WCSにおける乳酸菌添加が発酵品質に影響について、品種間に大きな差はみられなかったため熟期ごとの平均値をとったところ、結果は表6のとおりであった。黄熟期に採取した材料に乳酸菌を添加したところ、pH及びフリーク評点に大幅な改善がみられた。

表5 稲WCSの栄養価と発酵品質（品種・熟期別）

品種	水分 (%)	CP (%:DM)	TDN (%:DM)	pH	フリーク評点	V-Score	
べこあおば	乳熟期	76.6	12.5	48.4	4.4	55	78
	黄熟期	69.3	9.5	50.4	4.5	52	76
	完熟期	46.8	6.0	50.9	6.4	25	99
夢あおば	乳熟期	74.2	10.4	48.6	4.5	50	66
	黄熟期	66.2	6.9	50.3	5.1	46	84
	完熟期	41.6	5.2	48.3	6.4	34	99
クサホナミ	乳熟期	72.1	11.0	49.8	4.1	90	86
	黄熟期 ¹⁾	54.8	6.7	50.2	5.4	34	91
	完熟期 ¹⁾	37.0	6.2	48.7	6.4	18	98

1) 凍霜害により枯死したクサホナミを除く

表6 稲WCSの発酵品質（熟期別）

	水分 (%)	pH	フリーク評点	V-Score
乳熟期	74.3	4.3	77	65
黄熟期 ¹⁾	64.5	5.3	90	42
完熟期 ¹⁾	42.4	6.4	98	30
黄熟期 ¹⁾ (乳酸菌添加)	64.7	3.9	95	99

1) 凍霜害により枯死したクサホナミを除く

試験Ⅱ-2 ライムギの調製方法と発酵品質に関する試験

から推定)、pH、フリーク評点、V-Score

試験方法

(1) 供試材料

試験Ⅰ-2の平成22~23年栽培及び平成23~24年栽培において、各品種の出穂期に採取し、3水準の水分設定(75%、65%及び55%)を目標に乾燥させ試験に供試した。

(2) サイレージ調製方法

パウチ法により、平成22~23年栽培では無添加で、平成23~24年栽培では乳酸菌を添加して調製を行いWCSとした。

(3) 調査項目

水分、TDN含量(酵素法により分析し出口らの式¹⁾)

結果

ライムギサイレージの栄養価と発酵品質は表7のとおりであった。すべての品種で添加剤の有無にかかわらず、水分が低下するにしたがって、pHは低下し、TDN含量、フリーク評点及びV-Scoreは上昇する傾向であった。

乳酸菌添加の影響は、設定水分が55%の場合は明確でなかったが、設定水分が65%及び75%の場合には、フリーク評点及びV-Scoreに大幅な改善がみられた。また、pH及びTDN含量でも水分の低下にしたがい、向上する傾向がみられた。

表7 ライムギサイレージ栄養価と発酵品質

添加剤	品種	設定水分	水分(%)	TDN ¹⁾ (%:DM)	pH	フリーク評点	V-Score	
無	春一番	75	77.4	56.6	4.2	40	36	
		65	66.0	59.0	3.8	82	73	
		55	55.1	60.7	3.8	100	93	
	ハルミドリ	75	78.2	55.8	4.5	22	29	
		65	65.3	58.2	4.1	50	43	
		55	54.0	60.1	3.8	100	88	
	春香	75	75.8	55.8	4.1	40	53	
		65	65.1	58.4	4.0	65	79	
		55	53.2	60.0	3.9	100	96	
	設定水分別の平均	75	77.1	56.1	4.3	34	39	
		65	65.5	58.5	4.0	66	65	
		55	54.1	60.3	3.8	100	92	
	有	春一番	75	79	58.0	3.8	67	65
			65	69	60.4	3.7	90	92
			55	59	61.5	3.8	100	95
ハルミドリ		75	80	59.0	3.8	78	62	
		65	70	60.5	3.7	97	88	
		55	60	62.1	3.8	100	93	
春香		75	79	57.3	3.8	67	71	
		65	69	59.1	3.8	89	90	
		55	59	59.6	3.7	100	98	
設定水分別の平均		75	79	58.1	3.8	71	66	
		65	69	60.0	3.7	92	90	
		55	59	61.1	3.8	100	95	

1) 出口ら1997の推定式により算出

試験Ⅱ-3 ライムギの調製方法と発酵品質に関する試験

試験方法

- (1) 栽培ほ場
那須町農家ほ場（表層多腐植質多湿黒ボク土）
- (2) 供試品種
ア 飼料用稲：夢あおば
イ ライムギ：春香
- (3) 施肥及び栽培条件
農家慣行
- (4) サイレージ調製方法
飼料用稲及びライムギともに、モアによる刈り落とし後、テッターにより予乾（水分調整）し、ロールベアラー・ラッピングマシン体系で調製した。
- (3) 調査項目
水分、pH、フリーク評点、V-Score

結果

平成 25 年夏作に飼料用稲を、平成 26 年冬作にライムギを栽培して調製したロールベアの発酵品質は、表 8 のとおりであった。飼料用稲については水切りが良好であり、ライムギについては収穫前の降雨が少なかったため、水分低下が著しく発酵が進まなかったが、V-Score は良好であった。

表 8 稲 WCS の発酵品質（熟期別）

草種	水分 (%)	pH	フリーク評点	V-SCORE
飼料用稲	38.6	4.5	79	98
ライムギ	38.6	5.4	50	97

考察

パウチ法の結果から、飼料用稲を予乾（水分調整）しないでサイレージ調製する場合、乳熟期で水分が高すぎて良好な発酵を期待できないと考えられた。また、黄熟期以降であれば不良発酵を防げる水分となるが、開封後の二次発酵の防止を期待するような良好な発酵を目標とするならば、乳酸菌を添加することが望ましいと考えられた。

ライムギをサイレージ調製する場合、水分を 55%まで

調整することで良質なロールベアサイレージを調製可能であると考えられた。また、水分 55%まで予乾できない場合でも、乳酸菌の添加は発酵品質の向上にゆうこうであった。

実証試験により、予乾することにより飼料用稲ーライムギともに良好なロールベア調製が可能であると考えられた。

試験Ⅲ ライムギの生育予測モデルの開発

目的

飼料用稲ーライムギの二毛作体系において、作業ピークの分散を図りながら安定多収を目指すためには、作期予測は不可欠である。

特に、ライムギは収穫適期の出穂期を過ぎると急速に栄養価・嗜好性が低下するため、収穫が遅れないよう留意する必要がある、精度の高い出穂期の予測が必要である。

しかし、飼料用稲の生育予測は食用水稻の知見から準用できると考えられるが、ライムギを飼料用作物として利用する場合は出穂期の予測が必要であるため、生育予測モデルを作成し、その予測誤差を検証した。

試験方法

- (1) 発育データ
試験Ⅰ-2により収集した生育調査結果から用いた。
- (2) 気象データ
気温については、気象庁の地域気象観測システム（通称：アメダス）の観測地点「那須高原」のものをを用いた。また、日照時間を用いる場合には、試験実施場所の緯度から算出される天文日長時間を用いた。
- (3) 解析手法
播種期及び出芽期から出穂期までの生育予測モデルでは冬期の生育停止期間があるため、茎立期から出穂期までの生育予測モデルを検討し、実測値からの誤差を調べた。検討した生育予測モデルは下記のとおりとした。
ア 経過日数：単純に茎立期から出穂期までの日数を数えたもの
イ 有効積算温度：茎立期から出穂期までの日平均

気温から基準温度を減算した値（0 以下は 0 とする）を積算したもの。基準温度として 0 °C 及び 4 °C を設定した。

ウ DVR 値：堀江ら²⁾が提案した毎日の生育速度（Developmental Rate, DVR）の積算で任意の発育段階（発育指数）に達するという概念を、竹澤ら³⁾が取り入れたノンパラメトリック平滑化の手法で算出（推定）するもの。従属変数（気温等）に対応する連続変数となり、その積算が発育指数（通常は 1）以上となったときにその発育段階（出穂期）に到達するもの予測する。計算には竹澤⁴⁾の対話型ノンパラメトリック DVR 法プログラムを用いた。従属変数としては日平均気温、基準温度を 1~10 °C の 1 °C 刻みで設定した有効温度を用い、気温だけ（一次元ノンパラメトリック DVR 法）でなく、日照時間も従属変数とした場合（二次元ノンパラメトリック DVR 法）についても検討した。

結果

それぞれの生育予測モデルについての予測誤差は表 9 のとおりであった。

茎立期からの経過日数で予測しても予測誤差の平均は 3 日程度であったが、その範囲は 10 日以上と広範囲であった。

有効積算温度による予測では、基準温度が飼料用とう

もろこしなどで一般的な 4 °C よりも 0 °C の場合で誤差の平均が小さかった。しかし、基準温度 0 °C の有効積算温度による予測でも経過日数と同程度であった。

DVR 値による予測では、基準温度が 4 °C の有効温度を用いた一次元ノンパラメトリック DVR 法によるものが最も誤差が小さく、いずれの品種でも予測誤差の平均が 2.6 日以内と良好であり、特にハルミドリにおいて 1.7 日と良好であった。

また、全品種共通の DVR 値で予測が可能であるかを検討するために、各品種の有効温度に対する DVR 値の平均値から品種ごとに到達値を補正し、到達値以外は全データ（品種）を一括して予測を行ったところ、予測誤差の平均が 2.0 日と小さかった。なお、気温及び天文日長時間を気象要素とした 2 次元ノンパラメトリック DVR 法による生育モデルも検討したが、精度の向上はみられず、観測日が 30~40 日程度の予測に用いると自由度が小さくなってしまい不適であった。

基準温度が 4 °C の有効温度を用いた一次元ノンパラメトリック DVR 法でもとめた DVR 値は、図 2 のとおりであった。同じ極早生種の春一番とハルミドリは比較的類似しており、有効温度の上昇と DVR 値の上昇は直線的で

表7 ライムギの茎立期から出穂期までの生育予測モデルと予測誤差

生育予測モデル	算出値	春一番	ハルミドリ	春香
経過日数	平均±標準偏差(日)	32.4±3.9	32.8±2.9	31.7±3.3
	予測誤差範囲 (日)	-4 ~ +9	-4 ~ +6	-5 ~ +5
	予測誤差平均 (日)	3.2	2.4	2.9
有効積算温度 (基準温度 0℃)	平均±標準偏差(℃)	212±36	208±30	281±37
	予測誤差範囲 (日)	-5 ~ +8	-5 ~ +7	-4 ~ +8
	予測誤差平均 (日)	3.2	2.8	2.8
有効積算温度 (基準温度 4℃)	平均±標準偏差(℃)	102±25	98±22	161±27
	予測誤差範囲 (日)	-6 ~ +11	-5 ~ +12	-5 ~ +9
	予測誤差平均 (日)	4.6	4.1	2.8
DVR値 ¹⁾ (品種別)	予測誤差範囲 (日)	-6 ~ +5	-5 ~ +4	-3 ~ +6
	予測誤差平均 (日)	2.6	1.7	2.4
DVR値 ¹⁾²⁾ (全品種)	予測誤差範囲 (日)		-6 ~ +7	
	予測誤差平均 (日)		2.0	

1) 有効温度(基準温度:4℃)を気象要素としたノンパラメトリックDVR値

2) 品種別のDVR値の平均を基に到達値を補正して推定

あったが、晩生種の春香では、有効温度8℃(日平均気温12℃)以上でDVR値が急上昇する(生育速度が早まる)と推定された。

また、全品種共通で求めたDVR値は、春香のものよりも直線的であるが、春香のように有効温度8℃以上で傾きが大きくなる傾向もみられた。

ことができた。全品種共通でDVR値を算出することの可能性も示唆されたが、極早生種と晩生種ではDVR値の傾向が異なっており、更なる検討が必要であると考えられた。また、供試品種以外の品種や別の地域でも利用するなど汎用的に活用する場合はさらにデータ集積が必要であると考えられた。

考 察

ライムギについて茎立期から出穂期に到達する時期を予測するためには、有効温度(基準温度4℃)から推定したノンパラメトリックDVR法による生育予測モデルを用いることで、経過日数などよりも精度が高く予測する

* * *

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「低コスト・省力化、軽労化技術の開発—自給飼料を基盤とした国産畜産物の高付加価値化技術の開発—」の補助を受けて行った。

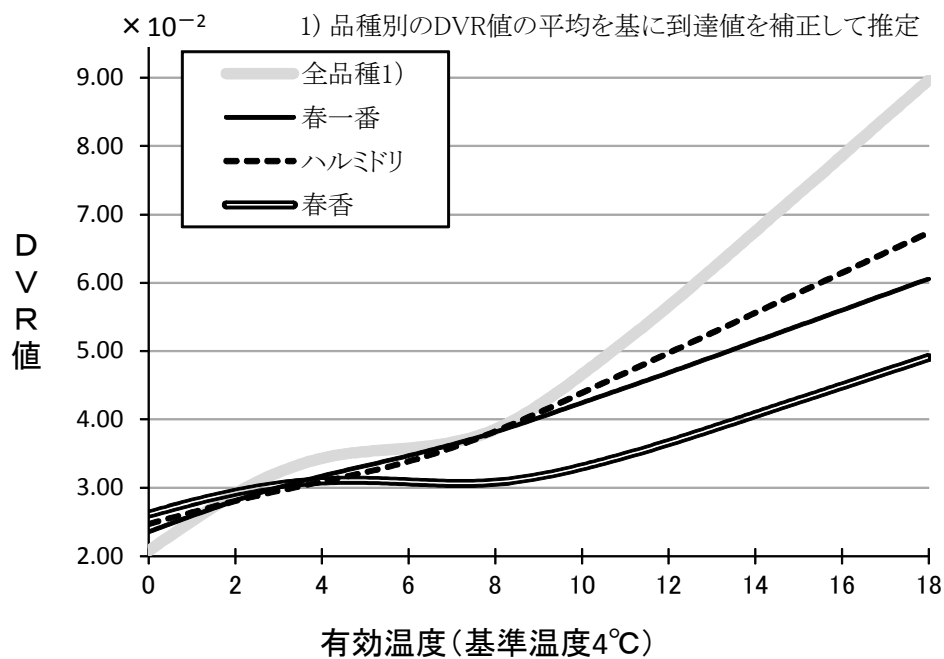


図2 ライムギの茎立期から出穂期までの DVR 値

参考文献

- 1) 1997, 出口健三郎・甘利雅弘・榎木茂彦・阿部亮, 寒地型イネ科牧草数種を込みにした TDN 含量の推定および推定精度の草種間差異. 日草誌 43(別):290-291
- 2) 1987, 堀江武・中村博視・吉良知彦, 日作紀 56(別 1):208-209
- 3) 1988, 竹澤邦夫・田村良文・小野祐幸, 昭和 63 年度農業気象学会全国大会講演要旨, 150-151
- 4) 2002, 竹澤邦夫 対話型ノンパラメトリック DVR 法プログラム. 農業技術研究機構 職務作成プログラム. 著作物に係る登録番号:P 第 7672 号-1