

8月下旬の土寄せの有無がネギ葉枯病黄色斑紋病斑の発生に及ぼす影響

岸 孝二¹・黒田 智久²

Koji KISHI and Tomohisa KURODA :

Effect of ridging in late August on occurrence of yellow mottle symptom caused by Welsh onion leaf bright

ネギ葉枯病により発生する黄色斑紋病斑に対する耕種的防除法の開発を試みた。原因菌の胞子供給源とみられる枯死葉を、8月下旬に土寄せを行い埋没させることにより、収穫時の黄色斑紋病斑の軽減効果を検討した。その結果、8月下旬の土寄せの実施により、9月以降の立毛状態での葉枯病褐色楕円形病斑は、有意に発生が抑制され、収穫時の黄色斑紋病斑においても、発生株率、重症株率とも有意に抑制されることが明らかとなった。

Key words : ネギ, 土寄せ, 胞子飛散消長, 一般化線形混合モデル, *Stemphylium* sp.

緒 言

ネギ葉枯病菌 (*Stemphylium* sp.) により発生するネギ葉枯病と、それに伴う収穫時の中心葉3枚に発生する黄色斑紋病斑は、新潟県で10月以降に収穫される秋冬ネギ栽培において、外観品質および等級下落の主要因であり、生産現場からも具体的対策が強く求められている。筆者らは既報にて、黄色斑紋病斑には品種間差異が存在することに加え、収穫が遅い作型ほど発生が増加する傾向があり、品種や作型を活用した耕種的防除の可能性を報告した (岸ら (2020))。

ネギの生育は、株中心部から新葉が抽出、展開し、それに伴い出葉済みの葉は株の外側へと段階的に移行し外葉となる。三澤 (2012) は、ネギ葉枯病菌によって形成される褐色楕円形病斑 (先枯れ病斑, 斑点病斑) について、外葉ほど感受性が高く、外葉に移行する段階で褐色楕円形病斑を形成すると述べている。また、ネギ残渣が一次伝染源である可能性を示している。このことから、褐色楕円形病斑は、外葉が脱落し枯死葉となっても、胞子供給能力が失われていないと考えられる。

根深ネギは、主な可食部である軟白部を確保することが重要である。そのため、生育に合わせて分岐部が埋ま

らない程度に管理機で株元に土を寄せる土寄せと呼ばれる作業が必要である。武田 (2008) は、土寄せにより生育が停滞するほか、失われた根を再生させるために、葉の構成成分を使って葉先が枯れこむと指摘している。また、葉身基部への土寄せ自体によって葉身は脱落すると述べている。

新潟県の秋冬ネギ栽培では、通常梅雨明け前に土寄せを行い、以降はしばらく実施されず、気温が低下した9月以降に再度実施される。これは、盛夏期に土寄せを行うと軟腐病を誘発するとされるためである。そのため、8月中下旬には枯死した葉身が株元に堆積した状態となり、環境条件によっては多量に胞子が供給されていると考えられる。

そこで、本試験では秋冬ネギでは通常実施されない8月の土寄せを「早期土寄せ」と定義し、それを行うことで枯死葉を埋没させ、耕種的に褐色楕円形病斑および黄色斑紋病斑の発生軽減効果を検討した。また、8月以降の胞子飛散消長を気象条件との関係性から明らかにすることを試みた。以上により、早期土寄せの効果を明らかにしたので、報告する。

¹新潟県農業総合研究所園芸研究センター Horticultural Research Center, Niigata Agricultural Research Institute. 177, Mano, Seiro, Kitakanbara, Niigata 957-0111, Japan

²現:新潟県農業総合研究所 Niigata Agricultural Research Institute. 857 Nagakura-machi, Nagaoka, Niigata 940-0826, Japan

材料および方法

1. 試験区の構成および耕種概要

試験は2020年、2021年の2年間にわたって、新潟県新潟市の新潟県農業総合研究所園芸研究センター砂丘地圃場で実施した。8月下旬の早期土寄せについて、実施（以下実施区）および未実施（以下未実施区）の2水準で構成し、両年とも3反復設置した。また、胞子の飛散が相互の区に影響しないように、実施区と未実施区は、同一圃場内で、50mほど離して設置した。品種は‘夏扇4号’（サカタのタネ）を供試した。播種は、両年ともCP303（5cmピッチ、日本甜菜製糖株式会社）に2粒播種とし、2020年は2/25に、2021年は3/15に実施した。発芽後は無加温ハウス内でベンチ育苗した。定植は、2020年は6/2、2021年は6/3に行った。収穫は、2020年は11/12、2021年は11/16に実施した。栽植密度は、両年とも畦幅は100cm、1m当たり株数は、両年とも40株とした。施肥は、両年とも基肥でN:P₂O₅:K₂O=4.8-14.0-3.3kg/10a、追肥1回あたりでN:P₂O₅:K₂O=4.2-3.0-3.9kg/10aを合計5回分施した。8月下旬の早期土寄せは、2020年は8/24、2021年は8/27に行った。その際、土寄せにより誘発される軟腐病の予防のため、2020年は実施区にのみ、2021年は両区にプロベナゾール粒剤を施用した。病害虫防除は、8月以降おおむね2～3回の間隔で殺菌剤と殺虫剤を散布した。早期土寄せ実施以降に使用した殺菌剤は、第1表のとおりとした。

2. 胞子飛散消長の把握

病原菌が本格的に胞子飛散を行う時期を把握するために、2020年と2021年の2年間、土寄せ試験圃場とは別の秋冬ネギ圃場内に、2020年は8/20から9/20まで、2021年は8/13から10/25まで吸引式胞子採集器（小池（1994）

第1表 早期土寄せ後に実施した薬剤防除の内容
(2020, 2021年)

年次	実施日	薬剤
2020	8/26	マンゼブ・メタラキシルM水和剤
	9/10	シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤
	9/21	シアゾファミド水和剤
	10/2	カスガマイシン・銅水和剤
	10/15	シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤
	10/26	メタラキシル・TPN水和剤
2021	9/6	マンゼブ・メタラキシルM水和剤
	9/22	シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤
	10/8	シアゾファミド水和剤
	10/19	ジメトモルフ・銅水和剤
	10/25	シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤

を改良した長野県果樹試式簡易胞子採集器を設置した。両面テープを貼付したスライドガラスを、設置後から調査終了までおおむね3日に1回交換し、光学顕微鏡下において、スライドガラス上に付着した分生子と子のう胞子のうち、カバーガラス（18mm×18mm）内の総数を計数した。また、気象データは最寄りのアメダス中条の観測情報を使用した。

また、微気象と胞子飛散量の関係を考察するため、半旬ごとの捕捉胞子数を応答変数、単位の影響を排除するため、標準化した半旬別の平均気温と累計降雨量の2変数を説明変数、調査年次（2020年、2021年）を変数効果として、ポアソン分布を仮定した一般化線形混合モデルによる解析を試みた。

3. 立毛調査

三澤（2012）は、葉枯病は、先枯れ病斑、斑点病斑、黄色斑紋病斑の3つの形態をとり、先枯れ病斑、斑点病斑から胞子が供給され、中心葉に黄色斑紋病斑を形成すると報告している。しかし、黄色斑紋病斑は流通・販売段階で外観品質を著しく損なうことで問題になることから、生育期間中の立毛調査は胞子供給源である先枯れ病斑と斑点病斑に絞って実施した。調査は、2020年は早期土寄せ前の7/31と8/21、早期土寄せ後の9/2の合計3回、2021年は早期土寄せ前は8/26、早期土寄せ後は9/17、9/30、10/18、11/8に、それぞれ立毛状態で実施した。各区任意の10株について、株あたり先枯れ病斑数と斑点病斑数を合わせて褐色楕円形病斑数として計数した。また、早期土寄せの実施が、褐色楕円形病斑の累積病斑数の増減に与える影響を明らかにするため、各区内から抽出した任意の10株の累積病斑数を応答変数、早期土寄せの有無を説明変数、調査年次を変数効果とし、ポアソン分布を仮定した一般化線形混合モデルによって回帰し、早期土寄せ未実施区を基準の0として算出される偏回帰係数を比較した。

4. 収穫時調査

各試験区1m²ずつ収穫し、2020年は収穫した全株について、2021年は20株無作為に取り出し、発病調査を行った。三澤（2012）は、べと病の病斑部に二次的に褐色楕円形病斑を形成すると述べており、岸ら（2020）は、べと病と黄色斑紋病斑の発生には中程度の正の相関がみられたと指摘していることから、調整前はべと病、先枯れ病斑、斑点病斑、調整後に黄色斑紋病斑について、第2

表の三澤（2008）の基準に従い発病程度を判定した。べと病と斑点病斑は、全葉の病斑面積率、黄色斑紋病斑については、出荷部位に当たる上位3葉のうち、最も症状の激しい1葉をその株の発病指数とした。また、先枯れ病斑については病斑の有無で発病株率を算出した。なお、黄色斑紋病斑については、三澤（2012）同様、出荷不可となる指数3以上を重症株と定義した。発病度の95%信頼区間は、ブートストラップ法により、復元抽出を1000回実施して算出した。また、早期土寄せが黄色斑紋病斑の発病および重症化の軽減におよぼす影響を検討するために、二項分布に基づく発病株率（発病程度指数1以上を1、なしを0）および重症株率（同3以上を1、3未満を0）を応答変数、土寄せの実施を説明変数、年次を変量効果とした一般化線形混合モデルによって、早期土寄せ未実施区を基準の0として算出される偏回帰係数を比較した。

解析にあたっては、R version 4.1.1 (R Core Team,

2021), lme4パッケージおよびlmerTestパッケージを使用した。

結果および考察

1. 8月下旬以降の孢子飛散消長の把握

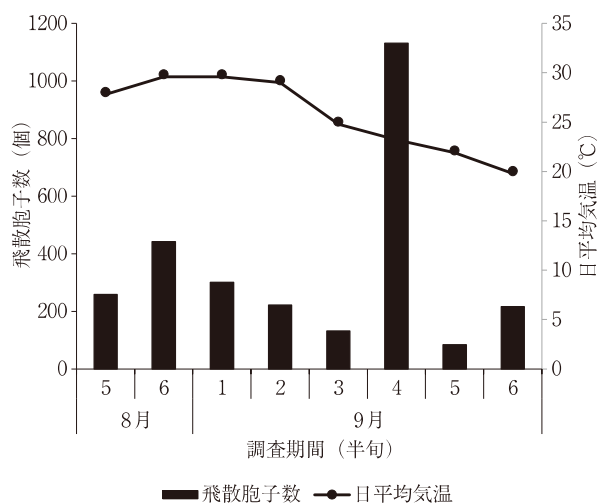
2020年は、孢子採集器を設置した8/20から、数個ではあるものの、葉枯病の孢子飛散が確認され、9月第4半旬には計測された孢子の総数は、1132個に達した。その後9月第5～第6半旬にかけては、おおむね100～200個程度にまで減少した（第1図）。

2021年は、前年とは対照的に、期間全体を通して孢子数は少なく推移した。最初に孢子飛散が確認されたのは8月第5半旬であり、孢子飛散量は9月～10月上旬にかけて徐々に増加し、その後は減少していく傾向がみられた（第2図）。

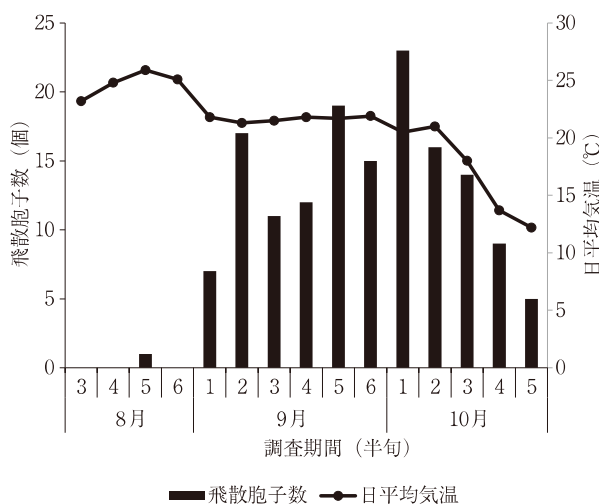
両年において、捕捉された孢子数に大きな違いがみら

第2表 べと病、斑点病斑および黄色斑紋病斑の調査基準

病害	指数	調査基準
べと病 および 斑点病斑	0	病斑の形成は見られない
	1	病斑面積率5%未満
	2	病斑面積率5%以上25%未満
	3	病斑面積率25%以上50%未満
	4	病斑面積率50%以上
黄色斑紋 病斑	0	病斑の形成は見られない
	1	小型（0.1cm程度）で不明瞭な病斑10個未満/葉
	2	小型で不明瞭な病斑10個未満/葉で、病斑合計面積5cm ² /葉未満、または小型で明瞭な病斑が数個/葉
	3	大型（0.25cm程度）で明瞭な病斑を形成し、病斑合計面積が2cm ² 未満/葉、または小型で不明瞭な病斑のみを形成し、病斑合計面積が5cm ² 以上/葉
	4	大型で明瞭な病斑のみを形成し、病斑合計面積が2cm ² 以上/葉



第1図 飛散孢子数と日平均気温の関係（2020年）



第2図 飛散孢子数と日平均気温の関係（2021年）

れたが、この理由については現在のところ不明である。有馬（2021）は、胞子飛散は6月ごろからみられるが、8月中下旬から急激に飛散量が増加すると述べている。本試験においては、調査開始が8月であることから、胞子飛散開始時期の特定は困難である。また、調査年次間で捕捉された飛散胞子数が大きく異なるものの、遅くとも8月中には胞子飛散が開始しており、9月～10月上旬にかけてピークの兆候が示唆される。

新潟県において、この胞子飛散量の増減が、気象条件によるものであるかは現在のところ判然としていない。そこで、微気象と胞子飛散量の関係性の解析を試みた。その結果、平均気温、累計降雨量とも有意であり、標準化偏回帰係数はそれぞれ平均気温で -0.096 、累計降雨量で 0.162 であった。これらのことから、解析に使用したデータの範囲内、すなわち半旬別平均気温が 12.2°C から 29.6°C の範囲では、気温が低下するほど胞子飛散量は増加し、同様に、半旬別累計降水量が 0 mm から 101.5 mm の範囲では、降雨量が増加するほど胞子飛散量は増加すると言える。また、2つの説明変数の標準化偏回帰係数の絶対値を比較すると、胞子飛散に与える影響は、気温よりも累計降雨量がより大きいと解釈できる（第3表）。

三澤（2012）は、褐色楕円形病斑から多量の分生子が発生しており、捕捉分生子数は気象条件との間には有意な相関関係は見られず、褐色楕円形病斑の発病株率と正の相関関係があると述べている。今回の結果からは、気温と降水量の関与が認められたが、今後はさらにデータ数を増やして、胞子飛散に関与する新たな要因を見出したい。

2. 早期土寄せ実施以降の褐色楕円形病斑の消長把握

2020年は、早期土寄せ前の7/31と8/21では、実施区と未実施区で病斑数はほとんど違いがみられなかった。一方、9/2の時点では、未実施区に比べ、実施区では病斑数は半分以下であり、明らかに少なく抑えられていた

第3表 半旬別の平均気温および期間内累計降雨量が胞子飛散量の増減に及ぼす影響（2020, 2021年）

説明変数	データ数	一般化線形混合モデル ^{a)}	
		標準化偏回帰係数	標準誤差
平均気温	23	-0.096	***
累計降雨量		0.162	***
定数項		4.057	**

a) 応答変数は、捕捉胞子数とした。

***：0.1%水準，**：1%水準で有意であることを示す。

（第3図）。

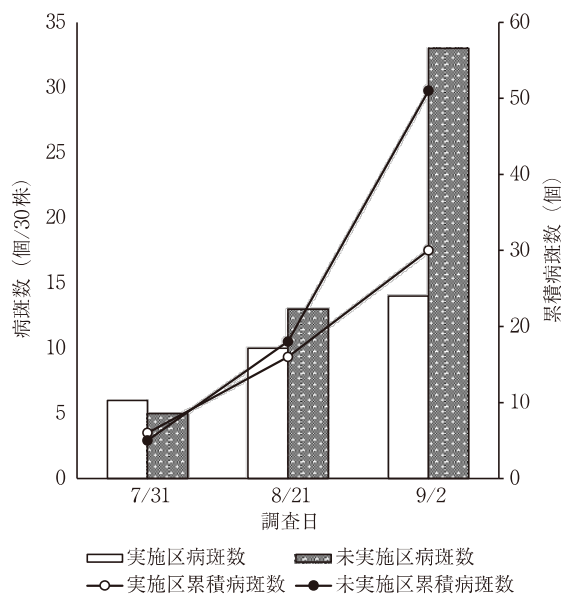
また、2021年は、早期土寄せ前の8/26、早期土寄せ後1回目調査の9/17の時点においては、前年同様土寄せの有無で病斑数にはほとんど違いがみられなかった。しかし、9/30に未実施区で病斑数は急激に増加し、その後10/18、11/8においても、未実施区が実施区を上回っていた（第4図）。

2か年における早期土寄せが褐色楕円形病斑の増減に与える影響について、偏回帰係数は、 -0.683 ($p < 0.001$)であった。これは、早期土寄せによって、立毛状態における褐色楕円形病斑の個数を有意に減少させることができることを示している。

3. 早期土寄せの実施が品質に与える影響

調整前は、葉枯病の先枯れ病斑数、斑点病斑数とも早期土寄せの実施による、有意な減少は認められなかった。また、べと病に関して、2020年は実施区と未実施区で、発病度はほぼ同等であったが、2021年は実施区で未実施区を大きく上回った（第4表）。この原因については現在のところ不明である。また、三澤（2012）や、岸ら（2020）で指摘されている、べと病と褐色楕円形病斑および黄色斑紋病斑との関係性は、本試験では認められなかった（データ略）。

調整後の黄色斑紋病斑については、発病度は2か年とも未実施区に比べ、実施区で有意な減少が認められた。

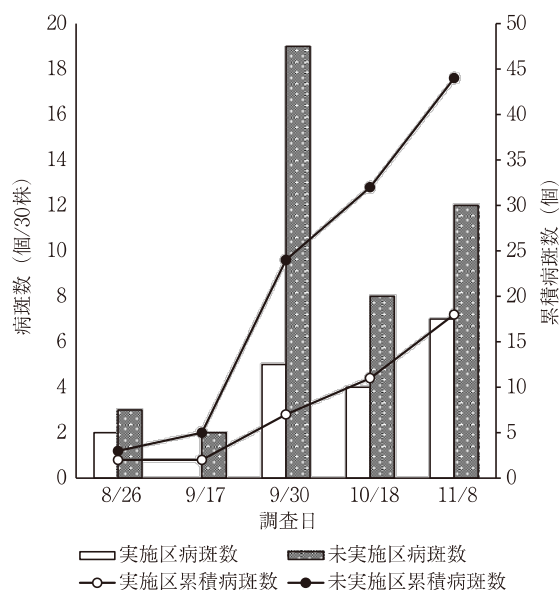


第3図 早期土寄せの実施の有無による葉枯病褐色楕円形病斑数の推移（2020年）

第4表 収穫物における各病害の発病程度（べと病，先枯れ病斑，斑点病斑は調整前，黄色斑紋病斑は調整後に調査）（2020，2021年）

病害	土寄せ	年次	調査株数(本)	発病程度別株数					発病度			有意性 ^{d)}
				0	1	2	3	4	発病度 ^{a)} 発病株率(%)	95%信頼区間 ^{c)}		
										下限	上限	
べと病	実施	2020	120	10	98	12	0	0	25.4	23.5	27.3	**
		2021	60	1	12	28	19	0	52.1	47.5	62.5	
	未実施	2020	115	20	82	13	0	0	23.5	21.1	25.9	
		2021	60	4	24	23	9	0	40.4	35.0	45.4	
葉枯病 先枯れ病斑 ^{b)}	実施	2020	120	119	1	0	0	0	0.8	0.0	4.6	ns
		2021	60	50	10	0	0	0	16.7	8.3	28.5	
	未実施	2020	115	112	3	0	0	0	2.6	0.5	7.4	
		2021	60	51	9	0	0	0	15.0	7.1	26.6	
葉枯病 斑点病斑	実施	2020	120	95	25	0	0	0	5.2	3.5	7.2	ns
		2021	60	50	8	2	0	0	5.0	2.1	7.9	
	未実施	2020	115	77	38	0	0	0	8.3	6.1	10.4	
		2021	60	54	4	2	0	0	3.3	0.8	6.2	
葉枯病 黄色斑紋病斑	実施	2020	120	66	34	13	6	1	17.1	13.3	21.0	***
		2021	60	23	15	13	7	2	29.2	22.1	36.2	
	未実施	2020	115	40	34	28	12	1	28.3	23.5	32.8	
		2021	60	8	7	17	20	8	55.4	47.5	62.5	

a) 発病度 = $100 \times \sum (\text{発病程度指数} \times \text{株数}) / (4 \times \text{調査株数})$
 b) 葉枯病先枯れ病斑は，有りを1，無しを0とした。発病度の代わりに発病株率(%)を示す。
 c) 発病度はブートストラップ95%信頼区間，発病株率は二項分布に基づく95%信頼区間を示す。
 d) 有意性検定は，発病程度別株数の分布について，べと病，斑点病斑，黄色斑紋病斑ではウィルコクソンの順位和検定，先枯れ病斑ではフィッシャーの正確確率検定を使用した。
 ***: 0.1%水準， **: 1%水準でそれぞれ統計的に有意であることを示す。



第4図 早期土寄せの実施の有無による葉枯病褐色楕円形病斑数の推移（2021年）

特に多発年である2021年においては，発病程度指数3以上の株数が明らかに少なく，重症化を防ぐ効果があると考えられる（第4表）。

なお，高温時の軟腐病対策として施用したプロベナゾール粒剤による葉枯病の発生に及ぼす影響については，

実施区のみ施用した2020年の試験単独ではその影響を明確に否定できないが，2021年では両区ともに施用しており，早期土寄せ実施の効果を検証することは可能と判断した。

早期土寄せが黄色斑紋病斑の発病および重症化に及ぼす影響について統計学的な検討を行った。発病株率は，未実施区で72.6%，実施区で50.6%，偏回帰係数は-0.975 (p<0.001) で有意であった。重症株率は，未実施区で23.4%，実施区で8.9%，偏回帰係数は-1.224 (p<0.001) で有意であった。これにより，早期土寄せの実施は，発病株率および重症株率とも有意に減少させる効果があることが示された（第5表）。

一方，調整前の褐色楕円形病斑の発病程度には，早期土寄せの実施による大きな違いがみられなかった。この理由は現在のところ不明である。しかし，前述のとおり，早期土寄せの実施は立毛状態における褐色楕円形病斑の累積病斑数と，収穫および調整後の黄色斑紋病斑とも，それぞれ有意に減少させている。このことから，収穫時および調整後の黄色斑紋病斑の発病には，収穫時点の褐色楕円形病斑ではなく，立毛状態での褐色楕円形病斑の累積病斑数が関与していると考えられる。すなわち，栽培期間中に褐色楕円形病斑の発病を抑制することで，黄色斑紋病斑の発生を減少させることが可能であると考え

第5表 早期土寄せの実施が黄色斑紋病斑の発病に与える影響（調整後）（2020, 2021年）

要因	水準	調査 本数	黄色斑紋病斑 (%)		一般化線形混合モデル ^{a)}			
			発病株率 (X \geq 1)	重症株率 (X \geq 3)	発病株率		重症株率	
					偏回帰係数	標準誤差	偏回帰係数	標準誤差
土寄せ	未実施	175	72.6	23.4	0.000	0.000	0.000	0.000
	実施	180	50.6	8.9	-0.975 ***	0.230	-1.224 ***	0.330
定数項					1.128 ***	0.344	-1.090 +	0.591

a) 応答変数は、発病株率では指数1以上を1、重症株率では指数3以上を1とし、それ以外を0とした。

*** : 0.1%水準, + : 10%水準でそれぞれ統計的に有意であることを示す。

られる。

また、年次別に収穫時の黄色斑紋病斑を見ると、2021年は2020年と比べ、発病度、発病株率とも大きい傾向が伺える。一方、先述の孢子飛散量は2020年に比べ2021年はわずかであり、孢子飛散量と収穫時の黄色斑紋病斑の発病程度は必ずしも一致していない。このことは、黄色斑紋病斑の発病および重症化には、単なる孢子飛散量の増減よりも、何らかの環境および栽培条件が複合的に関与している可能性が考えられる。

有馬（2021）は、畦上に堆積する枯死葉には先枯れ病斑の1000倍以上の孢子が存在し、枯死葉の除去により、大型の黄色斑紋病斑の形成が抑制されたと述べている。本試験では、早期土寄せによって、枯死葉を埋没することで褐色楕円形病斑および黄色斑紋病斑の発生抑制につながる事が明らかとなった。

本病害に対する薬剤の防除効果および防除適期は、近年の研究によってある程度示されてきているところである（齋藤・藤井（2017）、齋藤ら（2021））。薬剤防除を基本として、本研究で得られた知見を応用することにより、生産現場におけるさらなる安定生産につながる一助となることを期待したい。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、新潟県農業総合研究所園芸研究センター総務課の丹後精一氏、千代恵佑氏、渡邊キララ氏、野菜チーム角田広美氏に圃場管理や収穫物調整などで多大なご協力を頂いた。この場を借りて厚く感謝申し上げる。

引用文献

有馬秀和（2019）富山県におけるネギ葉枯病菌による黄

色斑紋病斑と栽培方法との関係. 園芸学会北陸支部令和元年度研究発表要旨・シンポジウム講演要旨：15.

有馬秀和（2021）白ネギ「まだら症」の発生メカニズムと被害低減技術. 富山県農林水産総合技術センター園芸研究所園研ニュース. Vol.17 (https://taffrc.pref.toyama.jp/nsgc/engei/webfile/t1_d3dee8f16a67fb70ac1a2aeb28022321.pdf) 最終閲覧日：2022年6月24日

岸 孝二・黒田智久・田崎義孝（2020）品種および作型によるネギ葉枯病黄色斑紋病斑の発生抑制法の検討. 北陸病害虫研報69：7-11.

小池英彦（1994）試作孢子採集器の利用とリング黒星病菌子のう孢子の飛散様式. 日植病報60：355-356（講要）.

三澤知央（2008）北海道におけるネギ葉枯病の発生消長. 北日本病虫研報59：50-55.

三澤知央（2012）ネギ葉枯病の発生生態と防除に関する研究. 道総研農試報132：5-74.

R Core Team（2021）. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

齋藤隆明・藤井直哉（2017）秋田県の秋冬ネギにおけるネギ葉枯病に対する薬剤防除適期の検討. 北日本病虫研報68：70-73.

齋藤隆明・藤井直哉・渡辺恭平（2021）ネギ葉枯病およびさび病を同時防除するための有効薬剤の探索. 北日本病虫研報72：8-12.

武田 悟（2008）栽培技術と生理生態的特性とのかかわり(4) 土寄せ等栽培管理. 高収益を確保するネギの生理生態と生産事例, 60-66, 誠文堂新光社, 東京. (2022年12月28日受理)