エンドウの非構造化炭水化物含有率と耐雪性との関連

福田直子・湯川智行*

北陸農業試験場 943-01 上越市稲田 1-2-1

Relationship between Nonstructural Carbohydrate Concentration and Snow Tolerance of Pea
(*Pisum sativum* L.)

Naoko Fukuta and Tomoyuki Yukawa

Hokuriku National Agricultural Experiment Station, Joetsu, Niigata 943-01

Summary

Pea (*Pisum sativum* L.) seedlings planted in Hokuriku area in the fall are often covered by snow. Some cultivars withstand the snow, whereas others do not. This study sought the relationship of snow tolerance with seeding time and nonstructural carbohydrate (NSC) concentration among cultivars to clarify the tolerance mechanism.

1. Varietal differences in snow tolerance in 33 cultivars revealed that tolerant cultivars were shorter in stature and had lighter foliage and numerous branches before snow cover than had the snow-vulnerable ones. If NSC concentration in the cotyledons was two to three times higher than that in the foliage, it contributed significantly to snow tolerance.

2. With delayed seeding time in the fall, high water soluble carbohydrate (WSC) concentration in the foliage accompanied by a proportional decrease in plant dry weight before snow cover promoted snow tolerance.

The cultivars and late seeding plants possessing high NSC in the cotyledons showed high snow tolerance, indicating the importance of NSC protecting the overwintering pea seedling under snow.

緒 言

エンドウ (*Pisum sativum* L.) の幼植物は比較的低温に強いが、平均気温が 20℃ を越すと生育が衰え、着莢が減少する (興津, 1972)。そのため北陸地域においても暖地と同様に秋播きの作型が一般的であるが、冬季の積雪によって莖葉の傷害や株の枯死等の雪害を生じ、収量や品質が不安定である。しかしながらこれまでエンドウの耐雪性に関する研究は行われておらず、耐雪性の品種間差の有無や播種適期なども明らかになっていない。

積雪下の作物は、0℃、暗黒、湿潤という特異な環境条件下で生存している (大沼, 1969)。このような環境下においては、作物の光合成による同化作用が停止しているため、積雪前に保持していた貯蔵養分を消

費して生存するものと考えられている (杉山, 1939)。このため作物の耐雪性は、単糖類・少糖類などの水溶性炭水化物 (water soluble carbohydrate, 以下 WSC) やこれに澱粉を含む非構造化炭水化物 (nonstructural carbohydrate, 以下 NSC) と密接に関係していることが報告されている (柿崎, 1936; Bruehl, 1982; Sagisaka ら, 1991; 湯川ら, 1994)。その中で、耐雪性の強い品種は NSC の積雪前含有率が高いことや、積雪下での減少率が低いことなどが報告されている。

そこで本研究では、エンドウの耐雪性機構について解明するため、耐雪性の品種間差異、ならびに播種期と耐雪性との関係を明らかにするとともに、耐雪性と NSC との関連について検討した。

材料および方法

試験 1. 耐雪性の品種間差異と NSC との関連

1) 供試品種と栽培法

北陸地域は、5 月以降の気温の上昇が著しく、越冬

1995 年 7 月 3 日 受付. 1996 年 3 月 11 日 受理.

*現在: 北海道農業試験場 062 札幌市豊平区羊ヶ丘 1

後のエンドウの生育適温期間が短い。そのため開花から収穫までの期間が比較的短く、北陸地域での栽培に適すると考えられる莢用品種を中心に、第1表に示した33品種を供試した。

1991年11月5日に北陸農試畑圃場に m^2 当たり5株(畦幅1.0m×株間0.2m)の密度で播種した。1区の試験面積は 3m^2 で3反復とした。施肥は、a当たりN, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ1.8, 2.4, 1.8kgを基肥とし、さらに消雪後の4月9日に0.8, 0.4, 0.8kgを追肥した。

2) 分析材料の採取と耐雪性の評価

NSCの分析材料は、積雪前の12月16日に各品種から4株採取した。その際に草丈、莖数、葉数、莖葉重、地中に残存する子葉重などの生育調査も行った。耐雪性は、個体の生死が明確になった消雪約1ヶ月後の生存株数で評価し、越冬株率で示した。

3) NSCの分析法

採取した株は、莖葉部と子葉に分けて、各々 70°C で48時間通風乾燥したのち、振動式粉碎機で150メッシュ以下に粉碎して分析用試料とした。

WSCを抽出するため、これらの試料200mgに脱イオン水10mlを加え、 30°C で1時間振盪し、遠心分離後に沈殿物からの抽出をさらに2回繰り返して、抽出液を合わせて50mlに定容後ろ過した。ろ液中のWSCはフェノール硫酸法(福井, 1990)により測定した。

子葉については、さらに澱粉量を測定した。WSCの抽出残渣に純水10mlを加え、30分間沸騰水中で予備糊化した後、オートクレーブ(120°C)で30分間糊化した。冷却後、グルコアミラーゼとマルターゼの酵素液を加えて 42°C で60分間糖化させた。50mlに定容後ろ過し、グルコースオキシダーゼ法によってグルコースを測定し、0.9を乗じて澱粉の含有率を算出した(長谷川・安井, 1980)。

試験2. 播種期による耐雪性の差異とWSCとの関連

供試品種には、予備試験で耐雪性が強いと判断された‘兵庫絹莢’と弱いと判断された‘仏国大莢’を用いた。両品種とも1990年9月18日から12月11日まで7日毎に13回播種した。試験規模および施肥条件等については試験1と同様である。越冬前の生育調査とWSC分析材料の採取を12月12日に行い、耐雪性の評価は試験1と同様に行った。

WSCの分析材料は、最も早播きの9月18日区およ

び9月25日区と、調査時に出芽していた遅播きの11月6日と11月13日の両播種区のみについて、莖葉部を採取した。他の播種期については生育調査のみを行った。

莖葉部のWSCは試験1と同様の方法で測定した。

結 果

1. 耐雪性の品種間差異とNSCとの関連

1) 耐雪性と積雪前の生育特性

1992年の根雪期間は1月18日から2月29日までの43日間で、平年値の90日と比較して少雪であった。エンドウ33品種の越冬株率は56.7%から100%の範囲で変化し、耐雪性の品種間差が認められた(第1表)。

これらのうち越冬株率が98%以上で、ほぼ全株が越冬した耐雪性の強い品種は、‘笹みどり’、‘日本絹莢’、‘小舟大莢’、‘豊成’、‘兵庫絹莢’であった。また、越冬株率が65%以下で耐雪性が弱い品種は‘グルメ’、‘さきがけ絹莢’、‘白姫’であった。

供試した33品種すべてについて、積雪前の生育特性と耐雪性との相関関係について調べた結果、第2表に示すように草丈、莖葉重と耐雪性との間で有意な負の相関が認められ、耐雪性の強い品種は積雪前の草丈、莖葉重とも小さい傾向があった。また、耐雪性と莖数、莖葉乾物率、子葉の乾物率との間では高い正の相関が認められ、耐雪性の強い品種は、積雪前の莖数が多いほふく型の草姿を示し、莖葉部と子葉の乾物率が高くなる傾向があった。

2) 耐雪性と積雪前のWSCおよびNSCとの関連

積雪前の莖葉部におけるWSC含有率は、乾物当たり6%から11%であった(第1図)。また、子葉中のWSC含有率は1%から18%であるのに対して、澱粉含有率は10%から31%と高く、その品種間差も有意であった。つまり、積雪前の子葉中には種子養分がかなり残存していた。これらと耐雪性との関連についてみると、莖葉部と子葉のいずれのWSCおよび澱粉とも正の相関が認められた。特に子葉におけるWSCと澱粉の和であるNSC、すなわち残存する種子養分と耐雪性との相関が最も高くなった(第2表)。

2. 播種期による耐雪性の差異とWSCとの関連

1) 播種期による生育量の変化

積雪前の莖葉乾物重は、‘兵庫絹莢’および‘仏国大莢’とも播種期が遅いほど急激に減少した。根雪にな

Table 1. Snow tolerance and characteristics of growth before snow cover of 33 pea cultivars.

No.	Cultivar	Snow tolerance ^z (%)	Plant height (cm)	No. of leaves	No. of stems	Foliage		Cotyledon	
						FW ^y (g)	DMC ^x (%)	FW (g)	DMC (%)
1	Sasamidori	100.0	3.9	2.8	1.6	0.4	12.7	0.3	15.3
2	Nihon-kinusaya	100.0	3.5	3.1	0.8	0.5	13.0	0.2	9.1
3	Kofune-ohsaya	100.0	4.0	2.6	1.3	0.5	11.7	0.3	14.0
4	Toyonari	98.1	4.8	3.3	1.7	0.7	12.6	0.4	17.0
5	Hyogo-kinusaya	98.1	3.2	2.9	1.1	0.4	12.6	0.3	10.7
6	Ichihara-wase-endou	96.3	4.1	2.9	1.7	0.5	12.9	0.4	17.7
7	Kurumeyutaka	96.3	4.0	2.9	1.2	0.7	10.9	0.6	9.8
8	Otome-2 go-kinusaya	96.3	4.2	2.9	1.2	0.6	11.8	0.3	13.3
9	Nihon-ohzaya	95.7	4.2	2.3	0.8	0.5	11.5	0.5	16.7
10	Enken-ohzaya	94.4	5.4	2.6	0.3	0.9	10.9	0.4	7.9
11	Tokyo-gokuwase	94.1	4.2	3.2	1.8	0.6	12.6	0.3	14.5
12	Hamakaze	93.7	4.8	3.0	1.5	0.6	12.4	0.4	15.3
13	Manryuu	92.4	4.0	2.2	0.7	0.5	11.4	0.4	10.9
14	Natsuhama	88.2	3.2	2.3	0.4	0.7	11.3	0.4	12.6
15	Danryuu	85.2	4.7	2.8	0.7	0.4	11.0	0.3	9.3
16	Kamakura	85.2	4.3	3.2	0.8	0.5	13.0	0.2	7.7
17	Suzunari-satou	84.7	4.3	2.9	0.7	0.6	11.3	0.2	9.9
18	Misasa	84.5	3.8	2.7	0.6	0.6	10.6	0.3	14.4
19	Takasasa	84.1	4.7	2.2	0.5	0.7	11.9	0.4	10.0
20	Sasafune	81.6	4.3	3.0	1.0	0.5	11.5	0.2	10.6
21	Nimura-akahana-2 go	79.0	3.5	2.8	0.9	0.6	10.6	0.2	8.1
22	Kawana-ohsaya-PMR	76.5	4.9	2.0	0.6	1.2	10.0	0.4	8.0
23	Shirobosi	73.1	4.1	2.8	0.8	0.5	10.7	0.2	7.5
24	Azusagawa-suzunari	71.4	5.4	3.2	0.8	1.0	9.7	0.3	6.5
25	Azumino-30 nichu-PMR	69.9	4.2	2.8	0.4	0.5	10.2	0.4	17.2
26	Beikoku-ohsaya	67.2	5.4	2.8	0.3	1.0	10.9	0.4	8.3
27	30 nichu-kinusaya	66.7	5.3	3.1	0.4	0.8	10.4	0.2	7.3
28	Narikoma-30 nichu	66.5	4.7	3.0	0.2	0.7	9.9	0.3	9.5
29	Futsukoku-ohsaya	65.5	6.1	2.5	0.8	1.0	10.4	0.7	12.8
30	Oranda	65.3	4.6	2.0	0.3	1.0	9.9	0.4	6.1
31	Gurume	60.8	5.1	2.1	0.2	0.6	10.9	0.4	12.1
32	Sakigake-kinusaya	60.0	5.5	2.9	0.4	1.0	9.9	0.3	7.3
33	Shirahime	56.7	3.7	2.9	1.3	0.5	10.9	0.2	8.8

^z Percentage of surviving plants after 43 days of snow cover duration.^y Fresh weight.^x Dry matter content.**Table 2.** Correlation coefficient between snow tolerance and growth characteristics of pea seedlings before snow cover.

Plant length	No. of leaves	No. of stems	Foliage			Cotyledon				
			FW ^z	DMC ^y	WSC ^x	FW	DMC	WSC	Starch ^w	NSC ^v
-0.486	0.164	0.546	-0.471	0.743	0.335	0.111	0.487	0.641	0.489	0.709
** ^u		**	**	***			**	***	**	***

^z Fresh weight.^y Dry matter content.^x Water soluble carbohydrate concentration. (% of dry matter).^w Starch concentration. (% of dry matter).^v Nonstructural carbohydrate including starch concentration. (% of dry matter).^u * : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001 (t-test).

Fig. 1. Nonstructural carbohydrate (NSC) concentration in cotyledon and water soluble carbohydrate (WSC) concentration in foliage of pea before snow cover. The number indicates variety shown in Table 1.

■ Water soluble carbohydrate concentration. ▨ Starch concentration.

Fig. 2. Changes in dry weight and dry matter contents in foliage of pea before snow cover by seeding date. ● and ■ represent the moderately tolerant 'Futsukoku-ohsaya' (#29, Table 1) and very tolerant 'Hyougo-kinusaya' (#5), respectively.

る直前の1月4日の調査においては、11月27日に播種したものは出芽直後であり、これ以後に播種したものは未出芽の状態で積雪下となった。全播種期を通して、茎葉乾物重をはじめとする生育量は耐雪性の弱い「仏国大莢」が、強い「兵庫絹莢」よりも大きかった。「兵庫絹莢」の茎葉乾物率は9月18日播種区(11.8%)か

ら10月16日播種区(15.9%)までは播種日が遅いほど高くなったが、それ以降はほぼ一定となった。「仏国大莢」では13から14%の範囲にあり、播種期による乾物率の違いは明らかでなかった(第2図)。

2) 積雪前のWSCと耐雪性の播種期間差

播種期と茎葉のWSC含有率との関係については、両品種とも播種日が遅いほど高くなり、「兵庫絹莢」においては早播の9月18日播種区は6.9%、11月13日播種区は12.6%で約2倍の差があった。「仏国大莢」ではそれぞれ9.4%と12.9%であった。また、晩播した場合のWSC含有率の品種間差は明らかでなかった(第3図)。

1990年の積雪条件は、根雪期間が1月4日から3月15日までの63日間であった。越冬株率は両品種とも播種日が遅いほど高くなり、耐雪性が強まった。耐雪性の強い「兵庫絹莢」は9月末の播種期でも半数の株が越冬し、10月23日以後の播種期で90%以上が越冬した。耐雪性の弱い「仏国大莢」では出芽直後で越冬した11月27日播種期で越冬株率が約90%であったが、10月23日以前の播種期では全株枯死した(第4図)。

考 察

越冬性のイネ科作物であるコムギやオオムギ

Fig. 3. Changes in water soluble carbohydrate (WSC) in foliage of pea before snow cover by seeding date. □ and ■ indicate 'Futsukoku-ohsaya' and 'Hyougo-kinusaya', respectively.

Fig. 4. Changes in percent survival of two pea cultivars after 63 days under snow by seeding date.

(Yukawa ら, 1995), 飼料作物であるイタリアンライグラス (田村ら, 1985), またナタネなどにおいて, 耐雪性と越冬前の作物体中の NSC 含有率との間には, 密接な関係があることが報告されている. しかしながら, マメ科の園芸作物であるエンドウにおいては関連する報告がみられない. これまでの耐雪性と NSC との関係についての報告の中で, 湯川・渡辺 (1991) はコムギを供試し, 越冬前の茎基部に光合成産物の残余として蓄積される NSC が, 品種の耐雪性と密接な関係をもつことを報告している. また, 同じ越冬作物であるナタネでも同様の報告がみられる (永山, 1969). 本試験で供試したエンドウにおいては, NSC 含有率は茎葉部で 10% 前後であるのに対して, 子葉中には

14 から 39% と含有率が高く, 耐雪性との相関関係も, 茎葉部よりも子葉の NSC 含有率との間で顕著であった. これらのことから, エンドウでは, コムギやナタネの場合と異なり, 越冬前に茎葉部に蓄積された WSC よりも, 子葉中に残存する NSC のほうが耐雪性向上に重要な役割を担うものと考えられる.

次に, 播種期と NSC との関連については, コムギやナタネでは, 播種期が遅くなると蓄積される NSC が減少することが報告されている (湯川ら, 1989; 伊藤・渡辺, 1994). 本試験のエンドウの場合, 晩播ほど茎葉部の NSC 含有率が高いことが明らかになった. これは, 晩播ほど生育量が小さいことから, 子葉中の養分が茎葉の生育に使われず多く残っていることが推定され, これが耐雪性に寄与していると考えられる.

吉田ら (1994) は, 春播きコムギの耐雪性と種子栄養との関係について報告している. すなわち, 寒冷積雪地帯において, 春播きコムギを秋播きコムギの通常の播種期である早秋に播種した場合には越冬率が低いが, 根雪前あるいは雪中に播種した場合には越冬率がきわめて高かった. これは雪中において, 種子の養分を徐々に利用して越冬するためと考察している. 本試験のエンドウの場合も吉田ら (1994) とほぼ同様の結論と考えられる. すなわち, 積雪下で生存に必要な養分は子葉に依存しているため, 積雪前の子葉中の NSC 含有率が多い品種や遅播きの栽培条件で耐雪性が強いと考えられる.

摘 要

エンドウの耐雪性機構を明らかにするため, 耐雪性の品種間および播種期による差異と, 非構造的炭水化物 (nonstructural carbohydrate, 以下 NSC) 含有率との関連について検討した.

1. 耐雪性には品種間差が認められ, 耐雪性の強い品種は, 積雪前における草丈と茎葉重が小さく, 分枝数が多い生育特性を示し, 積雪前における茎葉部の WSC 含有率は 10% 程度と低かった. しかし, 子葉中の NSC は茎葉部の 2~3 倍量存在し, また耐雪性との間に有意な正の相関関係が認められた.

2. 播種期と耐雪性との関連については, 播種期が遅くなるほど積雪前までの生育量は小さいが, 逆に茎葉部の NSC 含有率は高くなり, 耐雪性も強くなった.

以上から, エンドウの耐雪性は積雪前の子葉中の NSC 含有率の多い品種で, また播種期が遅い場合に強くなることが明らかになった. これはエンドウが積雪下での栄養分を子葉に依存するためであると考えら

れる。

謝 辞 本研究の契機と御校閲を賜った北海道農業試験場 田中征勝博士に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Bruehl, G. W. 1982. Developing wheats resistant to snow mold in Washington State. *Plant Dis.* 66 : 1090-1096.
- 福井作蔵. 1990. フェノール硫酸法. p. 50-52. 還元糖の定量法. 学会出版センター. 東京.
- 長谷川 幸・安井 健. 1980. 農産食品中のでん粉定量法. 第2報. 豆類およびその加工品中のでん粉定量法. *食総研報.* 36 : 104-109.
- 伊藤公一・渡邊慎一. 1994. ナタネの越冬前の乾物生産, 乾物率および水溶性炭水化物含有率に及ぼす播種期の影響. *北陸作報.* 29 : 82-84.
- 柿崎洋一. 1936. 小麦の雪腐抵抗性と茎葉の乾物率及び含糖率並びに葉片汁液の性質. *農及園.* 11 : 1309-1318.
- 永山忠夫・馬場 知・志賀敏夫. 1969. 菜種の越冬性に関する研究. 第2報. 越冬性の違いによる作物体各部の窒素および炭水化物含量の相違について. *福島農試報.* 6 : 1-15.
- 大沼匡之. 1969. 積雪下の作物に対する微気象. *日本積雪連合資料.* 95 : 1-9.
- 興津伸二. 1972. 主要野菜の品種と作型. エンドウ. p. 345-355. 清水 茂編著. 野菜の生態と作型. 誠文堂新光社. 東京.
- Sagisaka, S., Y. Matsuda, T. Okuda and S. Ozeki. 1991. Relationship between wintering ability of winter wheat and the extent of depression of carbohydrate reserves : Basal metabolic rate under snow determines longevity of plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37 : 531-541.
- 杉山直儀. 1939. 冬作物の雪害 I. *農及園.* 14 : 1119-1126.
- 田村良文・石田良作・青田清一・渡辺好昭. 1985. イタリアンライグラスにおける非構造的炭水化物の蓄積とその耐雪性に対する意義に関する研究. *北陸農試報.* 27 : 7-79.
- 吉田みどり・阿部二郎・森山真之・高屋武彦. 1994. 初冬播きした春播きコムギの越冬性及び低温発芽機構. *北海道農試研報.* 159 : 59-66.
- 湯川智行・渡辺好昭・塩谷哲夫. 1989. コムギ品種にみられたフラクトサン蓄積の特異性. *北陸作報.* 24 : 53-54.
- 湯川智行・渡辺好昭. 1991. コムギのフルクタン蓄積に関する研究. 第1報. 系譜上からみたフルクタン含有率と越冬性. *日作紀.* 60 : 385-391.
- 湯川智行・渡辺好昭・山本紳朗. 1994. コムギのフルクタン蓄積に関する研究. 第2報. 越冬時におけるフルクタン重合度の変化. *日作紀.* 63 : 430-435.
- Yukawa, T., Y. Watanabe and S. Yamamoto. 1995. Effect of cold-dark treatment on fructan metabolism in barley. *Jpn. J. Crop Sci.* 64 : 318-322.