

## ERFAHRUNGEN MIT ELEKTROTECHNISCHER MESSUNG DER FROSTFESTIGKEIT VERSCHIEDENER GENOTYPEN DES WINTERRAPSES

NÝVL, V., DEVERA, S.<sup>†</sup>

Forschungsinstitut für Lebensmittelindustrie, Praha

<sup>†</sup>OSEVA, VŠÚTPL Šumperk, Züchtungsstation Slapy u Tábora,  
Tschechoslowakei

Die beschleunigte Einführung der erucasäurefreien und dann der Doppelqualität "00" Winterrapssorten in die landwirtschaftliche Praxis, deren Frostfestigkeit in Folge der Ausgangsfrühlingsformen niedriger wird, hat einen akuten Bedarf einer schnellen und zuverlässigen Auswertungsmethode der Pflanzenresistenz gegen Frost. Die bisherigen zu diesem Zweck benutzten Methoden erfüllen nicht alle Anforderungen, vor allem wegen ihren langfristigen Auswertungen, Unmöglichkeit der Unterscheidung der Störungseinflüsse, usw. Die Bemühung um die Beseitigung dieser Mängel und um grössere Objektivisation führte uns zu den Versuchen der Ausnutzung einer elektronischen Methode, die aus dem physikalischen Wasserstand in dem pflanzlichen Gewebe (Nývit, 1982) ausgeht. Die gegenwärtige Elektronikentwicklung bringt neue Qualitäten auch bei der Auswertung komplizierter Erscheinungen und ermöglicht durch die korrelativen metrologischen Fortgänge die Ausnutzung der reinen physikalischen Methoden bei dem biologischen Material. Es ist nötig, die verfolgten Gesetzmässigkeiten einschliesslich der Nebenfaktoren gut kennenzulernen, damit sich die Möglichkeit der gewaltsamen und falschen Korrelationen eliminiert.

Die Frostfestigkeit der Pflanzen hängt mit dem Wasserregime zusammen und bildet sich in Abhängigkeit von Witterungsbedingungen durch die Form der sgn. Adaptationsprozesse (Tumanov, 1979). Im Verlaufe der Überwinterung ändert sie sich ausdrucksvoll, vor allem durch die Temperaturwirkung der Umgebung. Als Anzeiger der momentanen Frostfestigkeit kann zum Beispiel der physikalische Wasserstand im Gewebe sein. Die physikalischen Eigenschaften von diesem so gebundenen Wasser ändern sich ausdrucksvoll (es senkt sich zum Beispiel der Erstarrungspunkt, das Maximum der dielektrischen Relaxation verschiebt, sich, usw.). Unter der Voraussetzung, dass sich die einzelnen Genotypen einigermaßen durch die Struktur der Makromoleküle der Zellenproteine unterscheiden, kann man durch die Methode, die die Identifikation des gebundenen Wassergehalts ermöglicht, auch die Frostresistenz dieser Zellen verfolgen. Bezüglich zu den unterschiedlichen Relaxationsfrequenzen des freien und gebundenen Wassers hat sich als geeignet das Verfolgen der dielektrischen Eigenschaften der pflanzlichen Gewebe gezeigt.

## Methoden und Material

Bei den anfänglichen Forschungen wurden Laboruntersuchungen der Gewebemuster des Wuchskegels aus den in Feldbedingungen gezüchteten Pflanzen benutzt. Zum Verfolgen der Werte der komplexen Permittivität ( ) und ihrer Änderungen im Verlaufe der Überwinterung wurde ein spezieller Musterhalter benutzt, der so konstruiert ist, damit das Muster nur mit einem einfachen Kapazitätselement in einem Ersatzschema repräsentiert wird. Die benutzten Geräte haben es ermöglicht, in einem Frequenzbereich von 5 Hz bis 2 GHz und in einem Temperaturbereich von  $-25^{\circ}$  bis  $+30^{\circ}$ C zu arbeiten. Nach der Gewinnung der Grunderfahrungen wurde das Bereich auf 10 bis 450 MHz verengt und die Temperatur wurde auf  $20^{\circ}$ C gehalten. Nach dem Finden der optimalen Frequenz wurde das Messen bei einer konstanten Frequenz von 50 MHz durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse über die Gesetzmässigkeiten der Änderungen der Permittivitätskomponenten der Pflanzengewebe, die durch die Pflanzenadaptation in Folge des Induktionseinflusses der Umwelttemperatur hervorgerufen wurden, sind eine Grundlage für die Konstruktion eines speziellen für die Auswertungen bestimmten Messgerätes geworden. Das Gerät benutzt Wechsel des Grundwertes des Messsignals nach der Grösse der imaginären Komponenten der Permittivität der untersuchten Gewebe. Die Elektroden eines Abtastfühlers werden in die unter dem Wuchskegel abgeschnittenen Pflanzengewebe eingestochen. Damit wird das Gewebe direkt eine Komponente des Resonanzkreises und beeinflusst die Signalgrösse. Nach der Detektion und Verstärkung wird das Signal digitalisiert und gewährt eine Angabe über die relative Frostfestigkeit. Die Konstruktion des Messgerätes und die benutzte Methode sind unter der Autorenbescheinigung Nr. 222 756 "Methode der Bestimmung der Frostfestigkeit der Pflanzen und Einrichtung zu ihrer Durchführung" geschützt.

Das Messen der Frostresistenz durch eine indirekte elektronische Methode ist relativ und statischen Charakters und ermöglicht das Vergleichen der einzelnen Pflanzenkollektionen unter sich. Mit dieser Methode wurde eine ganze Reihe von ausländischen und auch tschechoslowakischen Genotypen des Winterrapses, bei denen vor allem die Dynamik der Frostresistenz der überwinternden Pflanzen verfolgt wurde, studiert. Zu dem ersten studierten Genotypen gehören zum Beispiel die Sorten Brink, Quinte, Primor, Jet Neuf, über deren Eigenschaften der 6. Rapskongress benachrichtigt wurde (Mládek et al., 1983). Seit dieser Zeit wurden zehntausende Pflanzen der mehr als 50 neueren Genotypen analysiert (Sorten Tandem, Silesia, Marinus, einige Neuzüchungen aus der DDR und der VRP und selbstverständlich eine ganze Reihe tschechoslowakischer Sorten). Weiter wurden die in gelenkten Bedingungen abgehärteten Winterrapspflanzen und einige Sorten des Winterweizens, für deren Messung der Abtastfühler des Messgerätes modifiziert wurde, verfolgt.

In der letzten Zeit werden die Möglichkeiten der dielektrischen Spektroskopie für das Verfolgen des Kältestresses bei einigen Gemüsearten überprüft.

### Ergebnisse und Diskussion

Bei der dielektrischen Spektroskopie verschiedener Winterrapsgenotypen wurde die Aufmerksamkeit vor allem auf die Erkenntnis der Grundgesetzmäßigkeiten des dielektrischen Verhaltens der Gewebe des Wuchskegels, besonders auf die Frequenzabhängigkeiten der Permittivitätskomponenten und die Frequenzabhängigkeiten der Permittivitätskomponenten und die Zeitabhängigkeit der Gewebepermittivität gerichtet (für die Überprüfung der Abhängigkeit der dielektrischen Eigenschaften, die die Wasserverbindung im Gewebe und die Pflanzenresistenz gegen den Frost respektieren). Die Ergebnisse mehrjährigen Verfolgens zeigen, dass sich diese Gewebe als ein hoch Verlustdielektrikum verhalten, wobei den dominanten Einfluss auf die dielektrischen Eigenschaften das beinhaltenete Wasser und sein physikalischer Stand hat.

Das dielektrische Verhalten des Pflanzengewebes bestimmen vor allem diese Faktoren:

#### 1. Die Frequenz des Messsignals

Durch das Studium der Relaxationserscheinungen wurde das ausdrucksvolle Maximum im Bereich von 10 bis 100 MHz gefunden. Im Bereich niedrigerer Frequenzen ist es jedoch mit leitfähigen Erscheinungen maskiert. Die Gewebe mit einem höheren Gehalt an gebundenem Wasser, d.h. resistenter Gewebe, haben das Relaxationsmaximum in Richtung niedrigerer Frequenzen verschoben. Für den Raps kann man als optimal die Messfrequenz von 50 MHz, die durch das Messen des Getreides geeignet ist, halten.

#### 2. Die Temperatur der Gewebe

Durch die Veränderung der Temperatur kommt es auch zum Verschieben der Relaxationsmaxima. Deswegen ist es nötig, konstante Temperatur der zu vergleichenden Kollektionen einzuhalten und eine genügende Stabilisierung der getesteten Pflanzen sicherzustellen.

#### 3. Die Temperaturänderungen der Aussenwelt

Es wurde eine charakteristische Senkung der imaginären komplexen Komponente, der Permittivität im Winterzeitraum, begleitet durch eine erhöhte Bindungswasserenergie als Reaktion auf die Aussenwitterungsbedingungen, bewiesen. Der stärkste Induktionseinfluss ist die Umwelttemperatur. Es ist notwendig, die Bedeutung der Dynamik der Änderungen des Gewebeeigenschaften hervorzuheben. Die resistenten Pflanzen kommen mit der Senkung der Aussentemperatur schneller in den Stand der Vegetationsruhe und sie reagieren langsamer auf Temperaturänderungen im Frühlingszeitraum. Es liegt auch an der sekundären Reaktion, was bedeutet, dass sich im Falle der Unterbrechung des Abhärtungsprozesses, zum Beispiel durch Erwärmung, bei den gesamt resistenteren Pflanzen der gewonnene Stand langsamer verlorenght als bei den weniger resistenten Genotypen.

4. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Genotypen Die Zwischensortenunterschiede in der Frostfestigkeit sind mit dem Wert der kritischen Temperatur  $T_k$  gegeben. Die komplexe Permittivität, vor allem ihre imaginäre Komponente, welche die dielektrischen Verluste repräsentiert, induziert empfindlich die Veränderungen in der Frostfestigkeit der Pflanzengewebe. Die Pflanzen mit höherer Frostfestigkeit haben niedrigere Werte der imaginären Komponente der Permittivität. Die Experimente haben eine sehr gute Korrelation dieser Grösse mit der kritischen Temperatur  $T_k$  bewiesen.

5. Die individuellen Unterschiede zwischen den Pflanzen Bei den Pflanzen desselben Genotyps äussert sich dieser Faktor als eine Zerstreung der gemessenen Werte, und das vor allem in den Zeiträumen der dynamischsten Änderungen, besonders im Frühjahrszeitraum, wenn es zur ausdrucksvollen Differenzierung der Entwicklungsphase kommt und die Ergebnisse dadurch entstellt sein können. Weiter wurde festgestellt, dass die getestete Kollektion durch Pflanzen ausgeglichener Stärke repräsentiert werden muss, und dass die Auswertung von zwischengenotypischen Unterschieden nur auf der Grundlage einer Kollektion von mehreren Pflanzen (ca. 20) durchgeführt werden kann.

Nach dem Auffinden der Korrelation zwischen  $T_k$  und  $T_c$  wurde ein elektronisches Messgerät der Frostfestigkeit, welches auf die parallelen Ersatzresistenzen des Gewebes mit der Einengung der Wirkung der Kapazitätskomponente reagiert, konstruiert. So wurde die maximale Wirkung der imaginären Komponente der Permittivität der untersuchten Gewebe auf die Grösse des Ausgangssignales sichergestellt. Nach den Vergleichstesten kann die Abhängigkeit zwischen der Angabe des Messgerätes ( $U_m$ ) und der kritischen Temperatur ( $T_c$ ) durch den korrelativen Koeffizienten  $r_{xy} = 0,8$  ausgedrückt werden.

Auf dem Bild 1 ist silch ein Vergleichstest für 6 Sorten, die in Naturbedingungen gezüchtet und abgehärtet wurden, veranschaulicht. In den einzelnen Quadranten sind die Abhängigkeiten der Durchschnittsangabe des Messgerätes, die an der gegebenen Sorte festgestellt wurde, der kritischen Temperatur, die durch die Methode der Regeneration der Pflanzen nach dem Frosteingriff festgestellt wurde, und endlich der regressiven Abhängigkeit zwischen der Indikation des Messgerätes und des Wertes  $T_c$  dargestellt.

Bild 2 hält den Verlauf der Adaptionprozesse bei Pflanzen mit einem gelenkten Wärmeregime fest. Die Kollektionen A, B, C representieren den Genotyp SL-33, die Kollektionen D, E und F den Genotyp OP-024. Im unteren Teil ist der Temperaturverlauf 14 Tage vor der Messung eingezeichnet. Die Abkühlungsphase machten nur die Kollektionen B, C, E, F durch. Die Temperaturinduktion der Adaptionerscheinungen kam bei ihnen durch ein Anwachsen der induzierten Werte der Frostfestigkeit um mehr 20% zum Ausdruck. Die Different zwischen den Genotypen äusserte sich erst bei dem Paar C und F, die der Nachabhärtung ausgesetzt waren. Bezüglich des Interesses der Züchter wurde die Methodik der Messung der Frostfestigkeit der Wintergetreide, ausgehend von den dielektrischen Eigenschaften des Gewebes

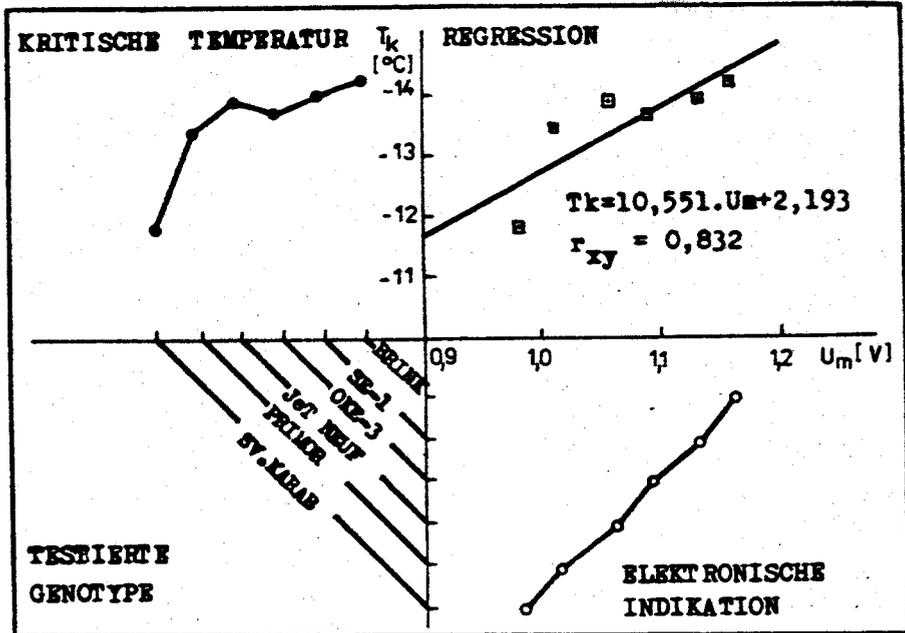


Bild 1: Test der Korrelation des elektronisch bestimmten Frostfestigkeit mit der kritischen Temperatur bei Pflanzen von sechs Sorten des Winterrapses adaptiert in Feldbedingungen.

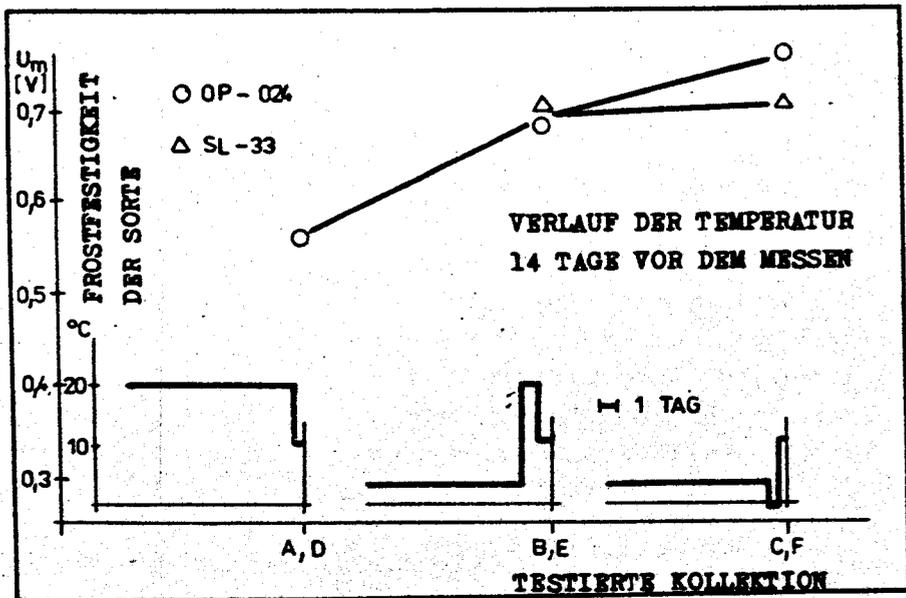


Bild 2: Verfolgung der Adaptation zweier Genotypen des Rapses in geleiteten Bedingungen.

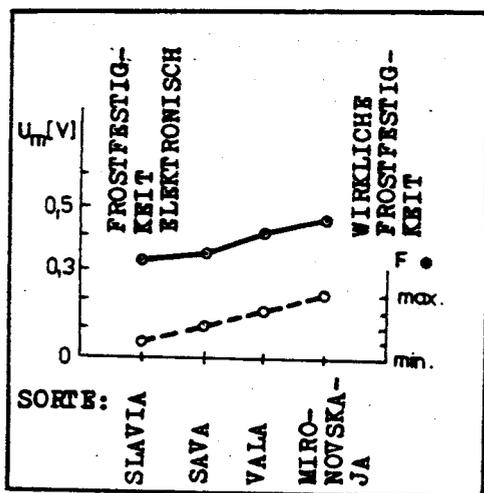


Bild 3:  
Skala der Frostfestigkeit  
des Winterweizens, repro-  
duziert durch elektronische  
Messung.

des Ausläuferknotens, gemessen bei einer gleichen Messfrequenz, ausgearbeitet. Es war nötig, den Messfühler des Messgerätes völlig umzuarbeiten. Nunmehr nutzt er die Vierpunktmethode des Abtastens aus, da sonst kein befriedigender Informationsgehalt im Ausgangssignal erzielt wird.

Auf dem Bild 3 ist eine Gruppe von Sorten des Winterweizens, welche eine natürliche Skala der Frostfestigkeit bildet. Es ist gelungen, diese Skala richtig auf Pflanzen im Stadium von 4 rechten Blättern, welche in gelenkten Bedingungen abgehärtet wurden, zu reproduzieren.

#### Abschluss

Durch die Anwendung der Methode der dielektrischen Spektroskopie und durch ein gründliches Studium der Gesetzmäßigkeiten des dielektrischen Verhaltens der Pflanzengewebe im Verlauf der Adaptionsprozesse einer Reihe von Genotypen des Rapses gelang es die Möglichkeit der elektronischen Bestimmung der Frostfestigkeit der Pflanzen zu beweisen. Für schnelle Orientierungsmessungen bei der Züchtung des Rapses wurde ein Messgerät der relativen Frostfestigkeit konstruiert und ausprobiert. Erfolgreich wurde der analogische Verlauf beim Winterweizen angewandt und zur Zeit wird seine Anwendung beim Verfolgen des Kaltstresses einiger Gemüsearten geprüft.

#### Verwandte Literatur:

- Mládek J., Nývlt V., Devera S., 1983: Evaluation of the frost resistance by a dielectric method. Proceedings of the 6th International Rapeseed Conference, Paris.
- Mládek J., Nývlt V., Havlíček V., 1981: Methode der Bestimmung der Frostfestigkeit der Pflanzen und Einrichtung zu ihrer Durchführung. Autorenbescheinigung Nr.222 756, Praha.
- Nývlt V., 1982: Die Anwendung der Dielektrischen Spektroskopie bei der Selektion des Olrapses auf Frostfestigkeit. *Zemědělská technika*, Praha 28: 593-604.
- Tumanov I.I., 1979: Fiziologija zakalivaniya i morozostojkosti rastenij. Nauka. Moskva.