

E. MERIVEE

JAHUTAMISKIIRUSE MÕJUST PUTUKATE ALLAJAHTUMIS- PUNKTILE

Et kahjurputukate arvukuse prognoosimisel õigesti hinnata nende talvist suremust, peab teadma nende külmataluvust. Selle kindlakstege misel on kõige mugavam lähtuda putukate kehavedeliku allajahtumis punktist.

Raskeimaks meetodiliseks probleemiks putukate allajahtumispunkti termoelektrilisel määramisel on tulemuste tõesuse saavutamine. Kuna termopaar näitab iseenda temperatuuri, tuleb tõese tulemuse saamiseks putukas termopaariga ideaalsesse kontakti viia. Termopaari otsa torkamine putuka kudedesse loob küll hea kontakti, kuid vigastatud koed külmuvad kõrgemal temperatuuril. Teine tee on jahutamiskiiruse aeglustamine piirini, kus putuka ja termopaari temperatuur enam-vähem võrdsustuvad.

A. W. MacPhee (1964) uuris väikeste putukate (peamiselt talvituvate munade) allajahtumispunkti jahutamiskiirustel $0,5 \dots 1^\circ\text{C}$ minutis. L. Sømme (1965) jahutas mitmesuguse suurusega putukaid kiirusega $1 \dots 2^\circ$ minutis. Uurinud põhjalikult külmutamisaja mõju allajahtumispunktile, soovitab R. W. Salt (1966a) standardse jahutamiskiirusena 1° minutis. N. Gorõšin (Горышин, 1966) soovitab putuka temperatuuri langeda 0° -st allajahtumispunktini $10 \dots 15$ minuti jooksul, mis on lähedane jahutamiskiirusele 1° minutis.

Need ja mõned teised autorid kasutavad 1° -le minutis lähedast jahutamiskiirust kõigi putukate allajahtumispunkti määramisel, arvestamata putukate suurust. Aeg, mille vältel putukas jahtub keskkonna temperatuurini, peaks olema võrdeline putuka massiga; uuritavate putukate massid aga erinevad kuni 100 000-kordselt ($10^{-2} \dots 10^3$ mg). Väga väikesed putukad, mõne milligrammised või alla selle, jahtuvad küll keskkonna temperatuurini väga kiiresti, kuid suuremate juures hakkab mass juba olulist mõju avaldama. Erinevused ilmnevad nii putuka eri kehaosade kui ka putuka ja termopaari temperatuurides. Suure putuka aeglasest jahtumisest tingituna suureneb ka temperatuuri gradient piki termopaari termoelektroode, mistõttu suurenevad termoelektroodide soojusejuhtivusest tingitud mõjud allajahtumispunkti näitudele: mida suurem on temperatuuri gradient, seda madalamad on mõõdetud allajahtumispunkti väärtused (Голубев, 1964).

Käesolevas uurimuses püütakse leida seost putuka massi ja sobiva jahtumiskiiruse vahel, mis võimaldaks allajahtumispunkti määramisel vähendada süsteemi temperatuuride erinevustest tulenevaid vigu.

Materjal ja meetodika

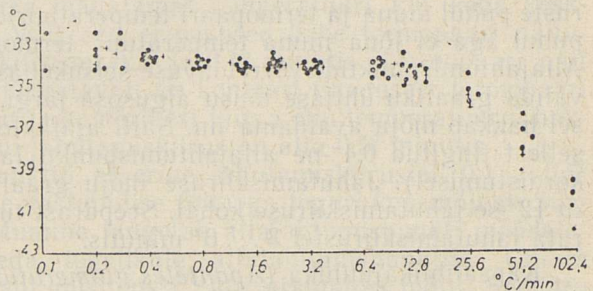
Katseobjektideks olid talvituvad sinise paelööläse (*Catocala fraxini* L.) munad (keskmine kaal 0,7 mg), kapsaliblikajuuluka (*Apanteles glomeratus* L.) kookonid (3,5 mg) ning suur-kapsaliblika (*Pieris brassicae* L.) nukud (400 mg). Katsematerjal hangiti augusti lõpul ja septembri algul ning hoiti välitingimustes. Katsed tehti detsembris. Allajahtumispunkt määrati vask-konstantaantermopaariga (esimese Ø 0,08, teise 0,2 mm), mille töökontakt kinnitati plekkoosiga ümbritsetud poroloonkambrisse. Suuremad putukad suruti tihedasti vastu töökontakti, munad kinnitati kontaktile vaseliiniga. Temperatuuri ühtlane langus saavutati külmutuskapi «OKA» jääkambris, mis oli porolooniga hoolikalt isoleeritud, reguleerides temperatuuri kontaktermomeetri abil või süsihappelumega poole-nisti täidetud Dewari anumad isolatsioonikihi paksust muutes. Toatemperatuurilt lange-tati temperatuur 0-st...-10°-ni (sõltuvalt putuka suuruselt) suhteliselt kiiresti, edasi jahutati konstantse kiirusega.

Tulemused ja arutelu

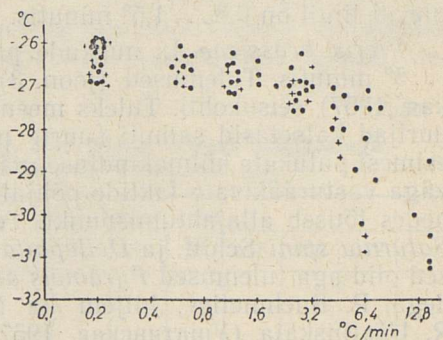
Putukate allajahtumispunkti sõltuvuse kohta jahutamiskiirusest võib kirjandusest leida peamiselt kahesuguseid, diametraalselt vastupidiseid seisukohti. Sellealaseid töötulemusi kokku võttes jõudis R. Ušatinskaja (Ушатинская, 1957) järeldusele, et jahutamiskiiruse suurenedes tõuseb allajahtumispunkt. Tema poolt refereeritavates uurimustes käsitletakse jahutamiskiiruste mõju, mis on lähedased 1°-le minutis. N. Kalabuhhov (Калабухов, 1935) näiteks loeb külmutamist kiireks, kui temperatuur langeb 1,33...2,77° minutis, aeglaseks aga seda, kui langus on vaid 0,55...0,70° minutis.

R. W. Salt (1950, 1961, 1966 a, b) aga jõudis teistele järeldustele. Varasemates töödes (Salt, 1950) väidab ta, et suhteliselt kiirel jahutamisel, kus jahutamine vältab mõnest minutist tunnini, ei avalda jahutamiskiirus allajahtumispunktile märgatavat mõju. Hilisemates töödes (Salt, 1966a, b) külmutas ta lehevaablase (*Cephus cinctus* Nort.) vastseid jahutamiskiirustel $1/_{128}$ -st...11,5°-ni minutis ja tuli järeldusele, et jahutamiskiiruse kahekordistumisel langeb allajahtumispunkt 0,24° võrra. Samasuguseid tulemusi said G. Vali ja E. J. Stansbury (1966), jahutades 0,01 cm³ vee-tilku kiirusega 0,5, 1, 2 ja 4° minutis. Jahutamiskiiruse kahekordistamisel langes külmumistäpp 0,2° võrra.

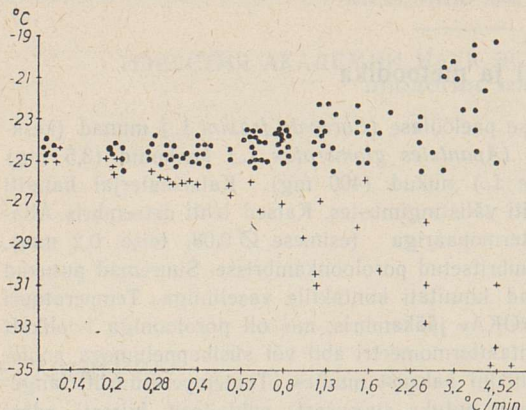
Autori poolt uuritud kolmest liigist langes kahe väiksema massiga



Joon. 1. Sinise paelööläse (*Catocala fraxini* L.) talvituvate munade allajahtumispunkti sõltuvus jahutamiskiirusest. Ristikestega tähistatud isendid olid termopaarist 3...4 mm kaugusel.



Joon. 2. Kapsaliblikajuuluka (*Apanteles glomeratus* L.) talvituvate kookonite allajahtumispunkti sõltuvus jahutamiskiirusest. Ristikestega tähistatud isendid olid termopaarist 3...4 mm kaugusel.



Joon. 3. Suur-kapsaliblika (*Pieris brassicae* L.) talvituvate nukkude allajahtumispunkti sõltuvus jahutamiskiirusest. Ristikestega tähistatud isendid olid termopaarist 5...6 mm kaugusel.

selline sõltuvus on ekstrapoleeritav ka pikematele ekspositsioonidele (tunnid, päevad). Väga aeglasel jahutamisel (0,1...0,2° minutis) hakkavad allajahtumispunktid keskmisest tugevamini hälbima. Jahutamiskiiruse suurenemisel üle 25° minutis hakkab allajahtumispunkt järsult langema ning suureneb hälve. Ilmselt on 15°-st minutis aeglasemate jahutamiskiiruste puhul muna ja termopaari temperatuurid võrdsed, suuremate kiiruste puhul aga ei jõua muna temperatuur termopaari temperatuurile järele. Allajahtumispunktide võrreldavuse seisukohast tuleks iga liigi puhul kiirus valida graafiku ühtlase tõusu algusosa järgi. Jahutamiskiiruse vähenemisel hakkab mõju avaldama nn. Salti ajafaktor (kõnesoleva liigi puhul on sellest tingitud 0,1°-ne allajahtumispunkti langus jahutamiskiiruse kahekordistumisel). Jahutamiskiiruse mõju graafiku murdekoht on sel liigil ca 12°-se jahutamiskiiruse kohal. Seepärast tuleks allajahtumispunkt määrata jahutamiskiirustel 3...6° minutis.

Kapsaliblikajuuluka (*Apanteles glomeratus* L.) kookonite allajahtumispunkti uuriti jahutamiskiirustel 0,2...6° minutis. Tulemused sarnanevad eelmistele väga (joon. 2). Jahutamiskiiruse kahekordistamisel langes allajahtumispunkt sel liigil 0,2° võrra. Putuka ja termopaari temperatuurid hakkavad märgatavalt erinema juba siis, kui jahutamiskiirus tõuseb üle 3° minutis. Allajahtumispunkti määramiseks sobivad jahutamiskiirused kõnesoleval liigil on 0,8...1,5° minutis.

Pieris brassicae L. nukkude puhul kasutati jahutamiskiirusi 0,05...5° minutis. Tulemused (joon. 3) kinnitavad R. Ušatinskaja (Ушатинская, 1957) seisukohti. Tuleks meenutada, et analoogilisi tulemusi saanud uurijad katsetasid samuti suurte putukatega. P. Bachmetiev (1900), üks esimesi putukate külmakindluse määramise meetodikaga tegelejad, jõudis väga vasturääkivate faktide põhjal järeldusele, et jahutamiskiiruse suurenedes tõuseb allajahtumispunkt. Tema järeldust kinnitasid katsed liikide *Saturnia spini* Schiff. ja *Deilephila galii* Rott. nukkudega. Otse vastupidised olid aga tulemused *Pyrameis atalanta* L. ja *Vanessa levana* L. nukkudega. P. Bachmetiev, hiljem ka N. Kalabuhhov (Калабухов, 1935) ja R. Ušatinskaja (Ушатинская, 1957) püüdsid seda nähtust seletada sellega, et mida aeglasemalt kaotab loom soojust, seda ühtlasem on tema temperatuur ning seetõttu on ka allajahtumisolek stabiilsem ja püsivam, kiirel jahutamisel aga on putuka kehatemperatuur ebaühtlane ning allajahtumisolek ebastabiilne. Autori katsed *Pieris brassicae* L. nukkudega

liigil allajahtumispunkt jahutamiskiiruse kasvades, liigil *Pieris brassicae* L. aga tõusis (joon. 1—3).

Catocala fraxini L. munade allajahtumispunkti uuriti jahutamiskiirustel 0,1...100° minutis (joon. 1). Jahutamiskiirused 0,1...15° minutis ei avaldanud allajahtumispunktile märgatavat mõju: kiiruse kahekordistumisel langes allajahtumispunkt keskmiselt vaid 0,1° võrra. Seda 0,1°-st allajahtumispunkti tõusu ekspositsiooniaja kahekordistumisel saab ära kasutada talvise suremuse prognoosimiseks. Väga vajalik oleks selgitada, kas

aga näitasid, et tegemist on putuka kehatemperatuuri määramisel tehtud meetoodiliste vigadega. Kiirel jahutamisel jahtub suurte nukkude keha ebaühtlaselt. Kõige kiiremini jahtub tagakehatipp, mis külmubki alati kõigepealt. Seda kinnitasid ka katsed, kus nuku temperatuuri jälgiti kahe termopaariga: üks neist oli surutud vastu keskosa, teine vastu tagakehatippu (tab. 1). Ka mainitud autorid külmutasid peamiselt suuri liblikanukke.

Tabel 1

Pieris brassicae L. nukkude erinevatele kehaosadele kinnitatud termopaaride näitude sõltuvus jahutamiskiirusest

Jahutamiskiirus, °C/min.	Keha keskosale ja tagakehale kinnitatud termopaaride näitude vahe, °C	Keha keskosale ja 5 mm nukust eemale kinnitatud termopaaride näitude vahe, °C
2,0	4,0	9,0
1,5	2,5	6,0
1,0	2,0	4,5
0,7	1,5	3,5
0,5	1,0	2,0
0,3	0,7	1,3
0,2	0,3	0,7
0,1	0,1	0,3

Tabelist 1 nähtub, et jahutamiskiirustel ca 1° minutis näitab tagakehale kinnitatud termopaar 2° võrra madalamat temperatuuri kui keha keskosale kinnitatud termopaar. Väikesed erinevused kahe termopaari näitudes säilivad isegi jahutamiskiirustel 0,2° ja 0,1° minutis. Termopaari näit antud objekti puhul sõltub märgatavalt ka kontakti tihedusest termopaari ja nuku vahel (joon. 3). Nuku ja kambrikest täitva õhu temperatuurid hakkavad lähenema alles siis, kui jahutamiskiirus on alla 0,5° minutis.

Mõõdetud allajahtumispunktid ei erine jahutamiskiirustel 0,1...0,5° minutis. See on tingitud kahe vastupidise toimega teguri koosmõjust. Süsteemi temperatuuride ühtlustumine langetab allajahtumispunkti mõõdetavat väärtust, lähendades seda tegelikule allajahtumispunktile. Umbes sama palju aga tõstab allajahtumispunkti Salti ajafaktori mõju. Seetõttu võib suurte nukkude allajahtumispunkti määrata üsna täpselt juba jahutamiskiirustel 0,2...0,5° minutis. Suurematel kiirustel ületab süsteemi temperatuuride ebavõrdsuse mõju ajafaktori toime tunduvalt, mille tõttu määratud allajahtumispunktid on tegelikest kõrgemad ning hälvivad tugevamini.

Allajahtumispunkti määramiseks sobivate jahutamiskiiruste muutumise seaduspärasusest vastavalt putukate kehakaalu erinevustele annab ülevaate tabel 2.

Tabel 2

Hüpoteetilised kriitilised jahutamiskiirused, mille juures erineva kehakaaluga putukate temperatuur võrdsustub kambri temperatuuriga

Kaal, mg	Jahutamiskiirus, °C/min.										
	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
Kerakujulise putuka kaal mg-des keha pinnaühiku kohta	0,16			0,33			0,66			1,32	
Katseline kriitiline jahutamiskiirus, °C/min.	12			3							0,1
Hüpoteetiline kriitiline jahutamiskiirus, °C/min.	12	6	3		1,5	0,75	0,37	0,18			0,09

Ligikaudu kehtib seaduspärasus, et kehakaalu suurenedes 8-kordseks väheneb kriitiline jahutamiskiirus (s.t. jahutamiskiirus, mille puhul putuka kehatemperatuur ja kambri õhutemperatuur võrdsustuvad) 4-kordselt. Peale kehakaalu mõjutab kriitilist jahutamiskiirust ka putuka keha kuju ja katete soojusejuhtivus.

Tulemuste võrreldavuse tagamiseks tuleks putukaid allajahtumispunkti määramisel jahutada kriitilisest 2...4 korda aeglasemalt. Käesolevas töös käsitletud *Catocala fraxini* L. jaoks oleks sobivaks jahutamiskiiruseks 3...6°, *Apanteles glomeratus* L. jaoks 0,8...1,5° ja *Pieris brassicae* L. jaoks 0,03...0,05° minutis. Viimase puhul saab eespool kirjeldatud põhjustel üsna usaldusväärseid tulemusi juba 0,2...0,5°-liste jahutamiskiiruste juures.

Järeldused

1. Varasemas kirjanduses esinev hüpotees, mille kohaselt putukate allajahtumisolek on kiire jahutamise korral ebastabiilne, mistõttu allajahtumispunkt tõuseb, pole leidnud uuemates uurimustes kinnitust. On selgunud, et selle hüpoteesi autorite meetodika ei ole usaldusväärne. *Pieris brassicae* L. ca 0,4 g raskuste nukkude allajahtumispunkti tõus 0,5°-st minutis suuremate jahutamiskiiruste juures seletub nukkude ebaühtlase jahtumisega kiirel jahutamisel: nuku tagakehatipp jahtub kiiremini ja külmub esmajärjekorras, termopaar aga mõõdab nuku keskosa temperatuuri.

2. Allajahtumispunkti määramisel tuleb erineva kehakaaluga putukaid jahutada erineva kiirusega. Kui kehakaal suureneb 8-kordseks, väheneb kriitiline jahutamiskiirus tavaliselt 4-kordselt. Andmete võrreldavuse huvides tuleks allajahtumispunkt määrata kriitilisest 2...4 korda aeglasema jahutamiskiiruse juures. Juuluka (*Apanteles glomeratus* L.) kookonite (kaal 3,5 mg) puhul on sobivaks jahutamiskiiruseks 0,8...1,5° ja *Catocala fraxini* L. munade (kaal 0,7 mg) puhul 3...6° minutis. *Pieris brassicae* L. nukkude jahutamisel ei tohi kasutada suuremaid jahutamiskiirusi kui 0,5° minutis, nuku eri osade ja kambri temperatuurid aga võrdsustuvad alles siis, kui jahutamiskiirus on 0,1° minutis.

3. Kui liigi *Apanteles glomeratus* L. puhul jahutamiskiirus suurendada 2-kordseks, langeb allajahtumispunkt 0,2° võrra, liigi *Catocala fraxini* L. puhul on langus ainult 0,1°. Kui see sõltuvus kehtib ka pikaajaliste ekspositsioonide puhul, annab ta võtme allajahtumispunkti alusel talvise suremuse prognoosimiseks.

KIRJANDUS

- Bachmetiev P. I., 1900. Die Abhängigkeit des kritischen Punktes bei Insekten von deren Abkühlungsgeschwindigkeit. Z. wiss. Zool. 67 (4) : 529—550.
- MacPhee A. W., 1964. Cold-hardiness and winter survival of some orchard arthropods in Nova Scotia. Canad. Entomologist 96 (4) : 617—625.
- Salt R. W., 1950. Time as a factor in the freezing of undercooled insects. Canad. J. Res. 28 (5) : 285—291.
- Salt R. W., 1961. Principles of insect cold-hardiness. Ann. Rev. Entomol. 6 : 55—74.
- Salt R. W., 1966a. Effects of cooling rate on the freezing temperatures of supercooled insects. Canad. J. Zool. 44 : 655—659.
- Salt R. W., 1966b. Relation between time of freezing and temperature in supercooled larvae of *Cephus cinctus* Nort. Canad. J. Zool. 44 : 947—952.
- Somme L., 1965. Further observations on glycerol and cold-hardiness in insects. Canad. J. Zool. 43 : 765—770.

- Vali G., Stansbury E. J., 1966. Time-dependent characteristics of the heterogenous nucleation of ice. *Canad. J. Phys.* 44 : 477—502.
- Голубев А. В., 1964. Измерение и регистрация температуры в грунтах с помощью термоэлементов. М.
- Горышин Н. И., 1966. Технологическое оснащение экологических исследований в энтомологии. Л.
- Калабухов Н. И., 1935. «Анабиоз» у животных при температуре ниже 0°. *Зоол. ж.* 14 (1) : 97—111.
- Ушатинская Р. С., 1957. Основы холодостойкости насекомых. М.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Saabus toimetusse
25. VI 1969

Э. МЕРИВЭЭ

О РАСХОЖДЕНИЯХ В ТОЧКЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Резюме

Влияние скорости охлаждения изучалось на трех видах зимующих насекомых разного веса. Точка переохлаждения определена термоэлектрическим способом термопарой медь-константан. Насекомые охлаждались сначала сравнительно быстро от комнатной температуры до отрицательных температур и дальше с постоянной скоростью охлаждения.

Выяснилось, что с увеличением веса насекомого примерно в восемь раз скорость охлаждения, при которой температура насекомого уравнивается с температурой окружающей среды (критическая скорость охлаждения), уменьшается примерно в четыре раза. При скорости охлаждения больше критической, термопара показывает температуры переохлаждения ниже реальных, а у больших куколок бабочек — выше реальных. Точку переохлаждения желательно определять при скорости охлаждения, которая в 2—4 раза ниже критической. Подходящие скорости охлаждения у изученных видов были следующими: у куколок *Pieris brassicae* (вес 400 мг) 0,2—0,5°, у куколок *Apanteles glomeratus* (3,5 мг) — 0,8—1,5° и у яиц *Catocala fraxini* (0,7 мг) — 3—6 °С в минуту.

При удвоении скорости охлаждения точка переохлаждения у яиц *Catocala fraxini* понизилась на 0,1°, у куколок *Apanteles glomeratus* — на 0,2°.

Распространенное в литературе мнение, согласно которому точка переохлаждения при быстром охлаждении повышается, не подтвердилось. При увеличении скорости охлаждения куколок *Pieris brassicae* точка переохлаждения повышается. При быстром охлаждении тело насекомого охлаждается неравномерно и поэтому температура измерялась только у середины куколки. Конец брюшка охлаждается быстрее и достигает точки переохлаждения раньше, чем середина тела. Чем больше разница в температурах конца брюшка и середины тела, тем больший показатель мы получаем от термопары, прикрепленной на середину тела насекомого.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
25/VI 1969

E. MERIVEE

EFFECT OF THE COOLING RATE ON THE SUPERCOOLING POINTS
OF INSECTS

Summary

The effect of the cooling rate on the supercooling points was studied in three overwintering species with a different body-weight. The supercooling points were measured with a copper-constant thermocouple and a galvanometer. At first the insects were cooled fairly rapidly from room temperature to a temperature between 0 and -10°C , but from there on the cooling rate was maintained constant.

It appeared that while body-weight increased about 8 times, the critical supercooling rate (i. e. the supercooling rate at which the temperature of the insect became equal to the temperature of the holder) decreased about 4 times. At critically higher supercooling rates with small-sized insects (such as the eggs) the thermocouple showed lower supercooling temperatures than they were in reality, but with larger insects (such as the pupae of *Pieris brassicae* weighing about 400 mg) it showed higher temperatures than the real ones. The appropriate supercooling rates with the species studied were as follows: *Pieris brassicae* pupae (400 mg) — 0.2 to 0.5° per minute, *Apanteles glomeratus* cocoons (3.5 mg) — 0.8 to 1.5° per minute, *Catocala fraxini* eggs (0.7 mg) — 3 to 6° per minute.

Doubling the rate of cooling lowered the mean supercooling point of *Catocala fraxini* eggs to 0.1° and that of the *Apanteles glomeratus* cocoons to 0.2° . The assertion found in the earlier literature that the supercooling point rises with a more rapid cooling was not confirmed. True, when the *Pieris brassicae* pupae were cooled more rapidly than 0.5° per minute, the readings of the supercooling points began to rise. This was due to the fact that the temperature was measured in the central part of the pupa. When cooling was performed rapidly, the body of the insect cooled down ununiformly, the temperature of the abdomen being lower, and the abdomen freezing first. It was evident that the greater the difference in the temperatures of the tip of the abdomen and the central part of the pupa, the higher the values of the supercooling point obtained with the thermocouple fixed to the central part of the body.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Zoology and Botany

Received
June 25, 1969