

# HIILIDIOKSIDILANNOITUS JA SEN MERKITYS TAIMI-KASVATUKSESSA

IRMA VOIPIO

*Helsingin Yliopiston puutarhatieteen laitos, Viik*

Saapunut 14. 10. 1965

Ilman hiilidioksidipitoisuuden alhaisuus saattaa lasinalaisessa viljelyssä heikentää kasvua. Vaikka tämä tiedettiin jo 1920-luvulla ja osoitettiin kokeellisestikin (4), ryhdyttiin kasvihuoneilman hiilidioksidipitoisuuden lisäämiseen käytännössä vasta sitten kun nestekaasun (propanin) polttaminen hiilidioksidin tuottamiseksi yleistyi. Menetelmä on levinnyt laajalle eri maissa, ja mm. Suomessa on v. 1965 lämmitettävistä kasvihuoneista 15 %:ssa eli n. 19 ha:n alalla käytössä propanin polttolaitteita.

Eri maissa suoritetuissa hiilidioksidilannoituskokeissa on ilman CO<sub>2</sub> -pitoisuus yleensä vaihdellut 0.03 %:sta 0.20 %:iin. Hiilidioksidilla lannoitettaessa on salaatilla saatu jopa 60 %:n sadonlisäyksiä (1, 11) ja tomaatilla 30—70 %:n sadonlisäyksiä (13), ja toisinaan taas on tuloksena ollut sadon aikaistumista (1, 12). Kurkusta saatu sato on joko laadultaan parempaa tai määrältään suurempi, kun on lannoitettu CO<sub>2</sub>:lla (3, 7, 8, 10). Neilikan satohuippujen väli on USA:ssa tehtyjen havaintojen mukaan taas lyhentynyt ja sato suurentunut ilman CO<sub>2</sub> -pitoisuuden kohotua 0.02 %:sta 0.05 %:iin (5).

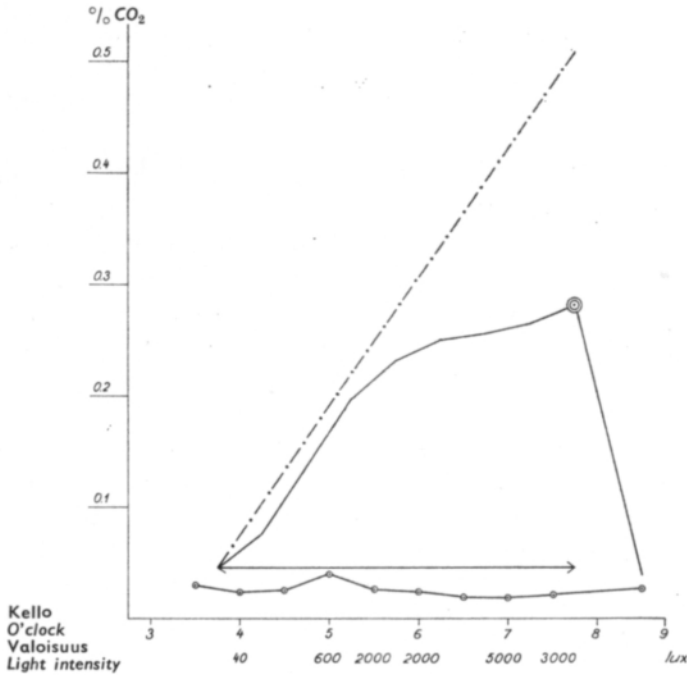
## *Hiilidioksidilannoitus kasvihuoneessa*

Tuulettamattoman kasvihuoneen ilman CO<sub>2</sub> -pitoisuus saattaa vaihdella huomattavasti kasvuston rehevyydestä sekä kasvualustan maatumisasteesta riippuen. GOLDSBERRY ja HOLLEY (6) totesivat ilman CO<sub>2</sub> -pitoisuuden laskevan satoa tuottavassa neilikkuhuoneessa keskipäivällä 0.012 %:iin sen oltua aamulla 0.04 %. Vesiviljelyssä saattaa kasvihuoneen ilman CO<sub>2</sub> -pitoisuus laskea vieläkin alemmaksi, 0.006 %:iin (3). KLOUGART (9) on toisaalta todennut, että ilman CO<sub>2</sub> -pitoisuus juuri istutetussa kurkkuhuoneessa saattaa kasvualustan maatumisen johdosta olla niinkin korkea kuin 0.45 %.



Tuuletettaessa voi kasvihuoneen ilman  $\text{CO}_2$  -pitoisuus olla lähes sama kuin ulkoilman (6), vaikka kaasutusta suoritettaisiinkin (13). On todettu, että kun  $\text{CO}_2$ :ta lisätään, kaasu leviää pian tasaisesti kasvihuoneen eri osiin, joskin kaasutuksen alkuvaiheessa on pieniä pitoisuuseroja ollut mitattavissa (6).

**M e n e t e l m ä t.** Hiilidioksidilannoitus kasvihuoneessa voidaan suorittaa joko petrolia, propaania tai alkoholia polttaen. Suomessa on käytetty kahta viimeksi mainittua polttoainetta. Nyt selostettavissa Helsingin Yliopiston puutarhatieteen laitoksen toimesta v. 1963—64 eri viljelmillä (Gripansin kauppapuutarha, Inkoo; Herrmansin kauppapuutarha, Karjaa; Huiskulan kauppapuutarha, Maaria; Wääksyn kauppapuutarha, Kangasala) suoritetuissa tutkimuksissa kiinnitettiin huomio kasvihuoneen tiivyyden, kasvuston rehevyyden sekä  $\text{CO}_2$  -polttimien sijoittelun vaikutukseen kasvihuoneen ilman  $\text{CO}_2$  -pitoisuutta määrittettäessä. Hiilidioksidia lisättiin propaania polttaen, ja  $\text{CO}_2$  -määritykset suoritettiin Riken-Keikin kaasundiakaattorilla.



Kuva 1. Ilman  $\text{CO}_2$  -pitoisuus kahdessa neilikkahuoneessa 7. 8. 1963.  
 Fig. 1.  $\text{CO}_2$  content of air in two carnation greenhouses. August 7, 1963.

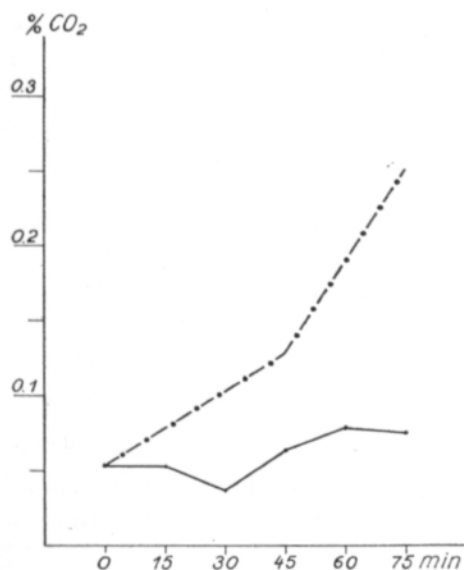
- = Ilman  $\text{CO}_2$  -pitoisuus huoneessa, jossa poltettiin propaania  
 *$\text{CO}_2$  content of air with added  $\text{CO}_2$*
- - - - - = Nestekaasun kulutuksesta laskettu ilman  $\text{CO}_2$  -pitoisuuden teoreettinen nousu  
*Theoretical  $\text{CO}_2$  content of air, estimated by measuring quantity of propane burned*
- ← — — — — — → = Propaanin polttoaika  
*Length of burning time of propane*
- = Tuuletetun kontrollihuoneen ilman  $\text{CO}_2$  -pitoisuus  
 *$\text{CO}_2$  content of air in ventilated control greenhouse*
- = Tuuletus alkaa  
*Ventilation starts*

**Kasvihuoneen tiiviys.** Tiiviyn tutkimiseksi mitattiin propaanin poltossa kuluva nestekaasumäärä ja täten voitiin laskea ilman hiilidioksidipitoisuuden likimääräinen teoreettinen nousu. Ennen propaanin polton alkamista sekä polton kestäessä 20 minuutin väliajoin suoritettiin  $\text{CO}_2$ -määritykset. Kuvassa 1 esitetään Gripansin neilikkilajelmällä 7. 8. 1963 hyväkuntoisessa, tiiviissä kasvihuoneessa propaanin poltolla aikaansaatu ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuuden nousu sekä nestekaasun kulutuksesta laskettu teoreettinen nousu. Aikaisin aamulla, valovoimakkuuden ollessa alle 2000 luksia, ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuus nousi miltei suoraviivaisesti kuitenkin saavuttamatta teoreettisesti laskettua arvoa. Erotus, joka oli n. 0.02 %, johtui pääasiassa  $\text{CO}_2$ :n haihtumisesta kasvihuoneen liitoskohtien kautta ulkoilmaan. Valon voimistuessa alkoi yhteyttäminen, jolloin  $\text{CO}_2$ -pitoisuuden nousu edelleen hidastui. Nousun hidastumiseen vaikutti ilmeisesti myös se, että hiilidioksidin osapaineen suurentuessa tapahtui haihtumista suhteellisesti enemmän kuin aikaisin aamulla. Lämpötilan säädön vuoksi oli tuuletus aloitettava klo 7.40, ja 45:ssä minuutissa tuuletuksen alkamisesta  $\text{CO}_2$ -pitoisuus laski 0.28 %:sta 0.03 %:iin.

Kuvassa 1 esitetyssä tapauksessa oli ulkoilmaan tapahtuvan hiilidioksidin haihtuminen vähäistä ja käytännössä merkityksetöntä. Kuvassa 2 esitetään esimerkki siitä, miten eräässä blokkihuoneessa muovilla eristetyssä nurkkauksessa, jossa kasvatettiin krysanteemin emotaimia, ei ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuus kaasutuksesta huolimatta lainkaan noussut.

Ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuus riippuu edellään otun mukaisesti kasvihuoneen rakenteen tiiviyydestä niin paljon, että nestekaasun kulutuksen perusteella ei ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuuden nousua voida suorastaan laskea, vaan se on kussakin tapauksessa mittamalla todettava.

**Kasvihuoneiden tuuletus.** Tuulettamalla tapahtuva kasvihuoneen lämpötilan alentaminen rajoittaa sitä aikaa, jolloin hiilidioksidilannoitusta voi

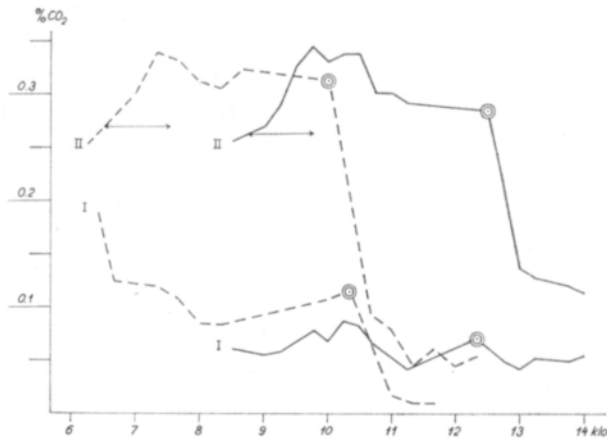


Kuva 2. Ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuus muovilla blokkihuoneesta eristetyssä nurkkauksessa

Fig. 2.  $\text{CO}_2$  content of air in a corner of block greenhouse separated with polythene.

- = Ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuus  
 *$\text{CO}_2$  content of air*
- · - · - = Nestekaasun kulutuksesta laskettu ilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuuden teoreettinen nousu  
*Theoretical  $\text{CO}_2$  content of air, estimated by measuring quantity of propane burned*

suorittaa. Niinpä neilikkaviljelmillä aloitetaan kesällä tuuletus usein jo klo 7, minkä vuoksi aika, jolloin hiilidioksidia voidaan kasvihuoneeseen lisätä, rajoittuu aamuvarhaisiin tunteihin. Kuvassa 3 esitetään Wääksyn puutarhan kurkkuhuoneissa I ja II kahtena päivänä, 3. 4. ja 20. 4. 1963, suoritettujen ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuusmäärittysten tulokset. Huone I oli kaasuttamattomana kontrollihuoneena, kaasutus suoritettiin polttamalla propaania 1 tunnin ajan ja CO<sub>2</sub>-määritykset suoritettiin huoneissa 15 min:n väliajoin. Sanotut päivät olivat aurinkoisia. Tuuletuksen alkamisen ajankohta siirtyi vajaassa kolmessa viikossa 2.5 tuntia aikaisemmaksi, mistä syystä myös propaanin poltto siirrettiin aikaisemmin tapahtuvaksi. Kaasutetussa huoneessa nousi ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus n. 0.33 %:iin, mutta kaasutuksen loputtua se aleni hitaasti, kunnes tuuletus liian korkean lämpötilan vuoksi oli aloitettava. Myös kontrollihuoneessa aleni hiilidioksidin määrä tuuletuksen ja kasvien assimilaation yhteisvaikutuksesta 20. 4. suoritettujen CO<sub>2</sub>-määrittysten mukaan lähes 0.01 %:iin.



Kuva 3. Ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus kurkkuhuoneissa 3. 4. ja 20. 4. 1963.

Fig. 3. CO<sub>2</sub> content of air in two cucumber greenhouses. April 3, and April 20, 1963.

- I ————— = Ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus kontrollihuoneessa 3. 4.  
CO<sub>2</sub> content of air in control greenhouse, April 3.
- II ————— = Ilman hiilidioksidipitoisuus 3. 4. huoneessa, jonne lisättiin CO<sub>2</sub>:ta.  
CO<sub>2</sub> content of air in another greenhouse where CO<sub>2</sub> has been added, April 3.
- I - - - - - = Ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus kontrollihuoneessa 20. 4.  
CO<sub>2</sub> content of air in control greenhouse, April 20.
- II - - - - - = Ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus 20. 4. huoneessa, jonne lisättiin CO<sub>2</sub>:ta.  
CO<sub>2</sub> content of air in another greenhouse where CO<sub>2</sub> has been added, April 20.
- ←————→ = Propaanin polttoaika  
Length of burning time of propane
- ⊙ = Tuuletus alkaa  
Ventilation starts

Tuuletuksen aikana ei hiilidioksidilannoitusta näin ollen voida suorittaa, mistä syystä kaasutus lämpinä vuodenaikoina rajoittuu varhaisiin aamutunteihin. Tuuletuksen alkaessa alenee ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus nopeasti ulkoilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden (0.03 %) tasalle tai yhteyttämisen vuoksi jopa sitä alhaisemmaksikin.

Kasvusto ja kasvualusta. Wääksyn puutarhassa suoritetuissa tutkimuksissa todettiin kaasutettujen huoneiden ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden olevan varhain aamulla n. 0.25 % (kuva 3). Syynä näin korkeaan hiilidioksidipitoisuuteen ovat lähinnä edellisenä päivänä suoritettu kaasutus, kasvien hengitys yön aikana sekä kasvualustan (turve + kananlanta) CO<sub>2</sub>-tuotto. Kahden viimeksi mainitun tekijän vaikutus kontrollihuoneessa näkyi selvästi 20. 4. 1963, jolloin huoneen ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus klo 6.30 oli vielä 0.19 %. Neilikka huoneissa suoritetuissa tutkimuksissa sen sijaan ei todettu ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden nousseen 0.04 %:a korkeammaksi, jos CO<sub>2</sub>-lisäystä ei suoritettu.

Ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen vaikuttaa edellä mainittujen seikkojen lisäksi kasvien assimilaatio päivän aikana sekä toisaalta niiden hengitys yöllä. Lisäksi suurenee CO<sub>2</sub>-pitoisuus sitä nopeammin, kun voimakkaammin maatuva kasvualusta on.

3.4. 20.4.				3.4. 20.4.				10.5. 7.8.				10.5. 7.8.				11.4.		11.4.	
—○—		—○—		—○—		—○—		—○—		—○—		—○—		—○—		—○—			
262	272	257	268	38	45	32	45	15	13	17	17	15	18	13	13	17	17		
+ 310	355	350	400	97	117	83	115	32	30	47	52	32	30	47	45	47	52		
323	325	343	323	168	235	143	212	47	45	57	53	47	53	57	53	57	53		
295	212	286	230	165	257	155	237	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—		
255	250	263	268	35	45	37	43	17	17	47	52	17	18	47	52	47	52		
325	320	351	337	97	147	83	163	57	53	57	53	52	52	57	53	57	53		
342	298	312	317	153	265	113	255	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
282	207	227	318	150	273	155	287	15	18	52	52	52	52	52	52	52	52		
+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—	+ —○—		
241	213	258	253	38	45	30	48	72	65	13	20	40	37	13	20	40	37		
310	307	350	320	90	153	83	125	38	32	40	37	38	32	38	32	40	37		
337	283	337	287	153	250	113	175	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
267	280	283	200	162	267	128	215	38	32	38	32	38	32	38	32	38	32		
Huone I 470 m <sup>2</sup> Greenhouse I 470 m <sup>2</sup>				Huone II 500 m <sup>2</sup> Greenhouse II 500 m <sup>2</sup>				Huone III 1200 m <sup>2</sup> Greenhouse III 1200 m <sup>2</sup>											

Kuva 4. Ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden (ppm) vaihtelut eri osissa kasvihuoneita. CO<sub>2</sub>-määritykset huoneessa I (Wääksy) 3. 4. ja 20. 4.; huoneessa II (Gripans) 10. 5. ja 7. 8. 1963 sekä huoneessa III (Herrmans) 11. 4. 1964. Huoneissa I ja II suoritettiin CO<sub>2</sub>-määritykset tunnin väliajoin ja huoneessa III puolen tunnin väliajoin. Ensimmäinen määrittäminen ennen propaanin polton alkua.

Fig. 4. CO<sub>2</sub> content in ppm in different greenhouses. Measurements were made in different parts of greenhouse. The intervals between measurements were 1 h (greenhouses I and II) and ½ h (greenhouse III). First measurement made before addition of CO<sub>2</sub>.

- = Paikka huoneessa, jossa CO<sub>2</sub> määritettiin  
Place in greenhouse where CO<sub>2</sub> was measured
- + = Propaanin poltin  
Propane burner

CO<sub>2</sub>-polttimien sijainti. Kasvihuoneiden ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuutta määritettäessä suoritettiin mittaukset eri puolilta kasvihuonetta, jotta saataisiin kuva siitä, miten poltettaessa kehittyvä CO<sub>2</sub> leviää eri osiin kasvihuonetta. Kuvassa 4 on kaaviomaisesti esitetty kolmella eri viljelmällä suoritettujen CO<sub>2</sub>-määritysten tulokset. Wääksyssä (huone I) ja Gripansilla (huone II) hiilidioksidimääritykset tapahtuivat tunnin väliajoin ja Herrmansilla (huone III) puolen tunnin väliajoin. Ensimmäinen CO<sub>2</sub>-määritys suoritettiin ennen propaanin polton alkamista. Kasvihuoneet olivat verrattain uusia ja tiiviitä, joten tulokset ovat likimain vertailukelpoisia. Wääksyssä oli kolme poltinta ja Gripansilla yksi iso poltin kasvihuoneen sivukäytävän yläpuolella, Herrmansilla taas keskikäytävän yläpuolella. Huoneessa I voitiin 3. 4. 1963 todeta tunnin kuluttua propaanin polton alkamisesta polttimen vastaisella sivulla konsentraation maksimi, polttimien puoleisella reunalla hiilidioksidipitoisuus oli 0.31—0.32 %. Huoneessa III kohosi CO<sub>2</sub>-pitoisuus nopeammin huoneen keskustassa kuin päissä, ja erot olivat tällöin 0.01—0.03 %.

Näissä mittauksissa todettiin vähäisiä eroja kasvihuoneen eri osissa, mutta tällöin ilmeni kuitenkin selvästi, että CO<sub>2</sub> leviää propaania poltettaessa huoneen kaikkiin osiin verraten nopeasti, mikä johtuu sekä ilman kieriosta että diffuusiosta kasvihuoneessa.

#### *Hiilidioksidilannoitus taimikasvatuksessa*

Varhaissatoa varten joudutaan monien puutarhakasvien taimikasvatus aloittamaan talvella kylmänä ja pimeänä ajanjaksona. Taimikasvatustilan lämmittäminen ja lisävalon antaminen ovat taimikasvatuksen onnistumiseksi tällöin välttämättömiä. Näistä toimenpiteistä huolimatta on taimien kehittyminen istutuskuntoisiksi verrattain hidasta, niinpä kurkun taimikasvatukseen keskitalvella kuluu aikaa n. 6 viikkoa. Pitkä taimikasvatusvaihe aiheuttaa viljelijälle huomattavia kustannuksia, minkä vuoksi on edullista pyrkiä lyhentämään tätä viljelyvaihetta.

Hiilidioksidilannoituksen merkitystä taimikasvatusajan lyhentämisessä ovat tutkineet mm. HOPEN ja RIES (7). Heidän suorittamissaan kokeissa olivat 0.215 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa kasvaneet kurkuntaimet 21 vrk:n kuluttua kylvöstä n. 2 kertaa suurempia kuin 0.050 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa kasvaneet taimet. Tällaiseen tulokseen pääsy edellyttää kuitenkin riittävää valaistusta. DAUNICHTIN (2) tutkimuksissa oli 1323 luksin valaistuksessa kasvaneiden kurkuntaimien kuiva-ainepitoisuus miltei puolta pienempi kuin 2100 luksin valaistuksessa kasvaneiden taimien kuiva-ainemäärä. Tämä ero oli suhteellisesti sitä suurempi, mitä korkeampi ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli. Valon voimistuessa lisääntyy kasvu sekä alhaisessa että korkeassa hiilidioksidipitoisuudessa, mutta valovoimakkuuden ollessa vain 3300 luksia on hiilidioksidilannoituksella saatu suhteellisesti suurempi kasvun lisä kuin valovoimakkuuden ollessa 7700 ja 15400 luksia (7). WITWERIN ja ROBBIN (13) salaatin taimikasvatusta koskeissa tutkimuksissa taas ilmeni, että taimet iän lisääntyessä hyötyvät yhä enenevässä määrin hiilidioksidilannoituksesta. Heidän suorittamissaan taimikasvatuskokeissa ilmeni edelleen, että tomaatin taimien vegetatiivinen kasvu sekä ensimmäisen kukkatertun muodostuminen nopeutui hiilidioksidilla lannoitettaessa.



Suomessa ei ennen vuotta 1963 ollut tutkittu hiilidioksidilannoituksen merkitystä taimikasvatuksessa. Helsingin Yliopiston puutarhatieteen laitoksella aloitettiin sanottuna vuonna tätä koskevat tutkimukset, joita seuraavassa selostetaan.

**M e n e t e l m ä t.** Taimikasvatuskokeet suoritettiin Viikissä kasvatuskapeissa, joissa valo, ilman läpötila ja kosteus sekä hiilidioksidipitoisuus voidaan säätää halutulla tavalla. Valaistusta niissä annettiin loisteputkilla (lämmin valkea), ja valon voimakkuus oli 6000 luksia. Kasvualustana nyt selostettavissa kokeissa oli seuraavalla tavalla lannoitettua jyrshinturvetta:

dolomiittikalkkia	8	kg/m <sup>3</sup>
kaliumsulfaattia	2	»
hienofosfaattia	2.5	»
kaksoissuperfosfaattia	0.75	»
Oulunsalpietaria	0.5	»
hivenseosta	0.1	»

Taimikasvatuskokeet olivat lyhytaikaisia. Niillä pyrittiinkin alustavasti selvittämään, millä tavoin ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus (0.5, tai 0.2 %), lämpötila (tasainen tai vaihteleva) ja valo (yhtämittäinen tai jaksoittainen) vaikuttavat taimien alkukehitykseen. Hiilidioksidilannoitus aloitettiin heti, kun taimet siirrettiin kasvatuskapeihin, ja sitä annettiin joko 15 tai 24 tuntia vuorokaudessa. Lämpötilavaihtelut oli kytketty päivän pituuteen niin, että valoisana aikana oli korkea lämpötila ja pimeänä aikana alhainen lämpötila. Havaintojen yhteydessä mitattiin taimien maanpäällisen osan pituus ja paino, laskettiin kasvulehtien lukumäärä tainta kohti ja juuret arvoitettiin silmävaraisesti.

**K u r k k u.** Kurkun taimikasvatuskokeessa oli lajikkeena Butchers OE. Kylvö suoritettiin 10 päivää ennen kasvatuskapeihin siirtämistä. Kasvatuskapeissa vallinneet koeolosuhteet sekä saadut tulokset esitetään taulukossa I.

Ensimmäisessä kokeessa selvitettiin ilman hiilidioksidipitoisuuden, 0.05 % ja 0.2 %, ja lämpötilan, 19° ja 30—12°, vaikutusta taimien kasvuun. Jo 24 vrk:n kuluttua kasvatuskapeihin siirtämisen jälkeen hiilidioksidilannoitusta saaneiden taimien tuorepaino oli n. kaksi kertaa ja lämpötilan vaihdella 30°:sta päivällä 12°:een yöllä viisi kertaa suurempi kuin 19°:ssa ja 0.05 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa kasvaneiden taimien tuorepaino. Hiilidioksidilannoituksen aloittamisesta 30 vrk:n kuluttua olivat vastaavat luvut n. 4- ja 9-kertaiset.

Seuraavassa kokeessa selvitettiin, missä määrin ensimmäisessä kokeessa 30—12°:ssa nopeutunut kasvu johtui lämpötilan noususta. Tällöin olivat 20 vrk:n kuluttua CO<sub>2</sub>-lannoituksen alkamisesta, lämpötilan ollessa 35—12°, hiilidioksidilannoitusta saaneet taimet kaksi kertaa pitempiä (23.3 cm) ja lähes kolme kertaa painavampia (33.4 g) kuin samassa lämpötilassa ilman hiilidioksidilannoitusta kasvaneet taimet, jotka olivat keskimäärin 10.2 cm:n pituisia ja painoivat keskimäärin 11.7 g. Samassa kokeessa selvitettiin myös hiilidioksidilannoituksen ja yhtämittaisen valon vaikutusta taimien kehittymiseen 23°:ssa. Jatkuvasa valaistuksessa 0.05 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa taimet kehittivät hitaammin 23°:ssa kuin 35—12°:ssa valoisan

Taulukko 1. Kurkun taimikasvatuskokeet 1963–1965.  
Table 1. Experiments on growing young cucumber plants, 1963–1965.

Kaappi n:o Chamber No.	Kasvuolosuhteet Growing circumstances			Tulokset 17. 12. 1963 Results				Juuret - Roots 0—10	22. 12. 1963			Juuret - Roots 0—10
	% CO <sub>2</sub>	Lämpötila Temperature °C	Päivän pituus t Day length h	Taimen pituus cm Length of main stem cm	Lehtiä/taimi Leaves per plant	Taimen paino g Weight per plant g	Taimen pituus cm Length of main stem cm		Lehtiä/taimi Leaves per plant	Taimen paino g Weight per plant g		
Koe I 23. 11. 1963—22. 12. 1963 Experiment I												
1	0.05	19	15	4.1	3.5	3.3	5	4.1	3.3	3.3	5	
2	0.2 (15 h)	30—12	15	12.8	6.9	17.1	10	25.2	9.8	30.3	10	
3	0.2 (15 h)	19	15	5.7	3.9	6.7	7	6.3	5.0	12.7	10	
Koe II 23. 12. 1963—13. 1. 1964 Experiment II												
13. 1. 1964												
1	0.05	23	24	5.7	3.8	9.3	8.9	Juuret Roots 0 = heikosti kehittyneet poorly developed				
2	0.2 (15 h)	23	24	8.6	4.7	17.4	10	10 = voimakkaasti kehittyneet strong				
3	0.2 (15 h)	35—12	15	23.3	8.2	33.4	10					
4	0.05	35—12	15	10.2	4.9	11.7	7					
Koe III 9. 12. 1964—7. 1. 1965 Experiment III												
30. 12. 1964												
1	0.2 (15 h)	32—10	15	8.9	6.9	12.8	7.7	40.5	12.6	52.2	9.4	
2	0.2 (15 h)	24—19	15	6.8	5.8	15.5	8.9	25.4	8.7	40.5	9.9	
3	0.05	32—12	15	7.2	5.5	11.7	6.9	16.6	9.0	30.1	8.6	
4	0.2 (24 h)	24—17	15	5.2	4.7	11.3	7.4	13.7	7.9	34.0	9.6	

ajan pituuden ollessa 15 t. Jatkuvassa valaistuksessa ja 23°:n lämpötilassa hiilidioksidilannoitus lisäsi taimien kasvua, mutta näissä olosuhteissa taimien lehtiin ilmestyi keltaisia laikkuja.

Koska edellisissä kokeissa korkea päivälämpötila ja alhainen yölämpötila sekä jaksoittainen valaistus näyttivät soveltuvan kurkun taimikasvatukseen, suoritettiin kolmas koe tämän havainnon mukaisesti. Päivälämpötilat olivat 32° ja 24° sekä yölämpötilat 17—19° ja 10—12°. Kun lisättiin hiilidioksidia (0.2 %), kehittyi 24—17°:ssa vankemmat taimet kuin 35—10°:ssa; 20 vrk:n kuluttua hiilidioksidilannoituksen alkamisesta oli edellisessä painon suhde pituuteen 2.3 ja jälkimmäisessä 1.4. Kuitenkin jo 10 päivää myöhemmin ero oli tasoittunut, vastaavat suhteet olivat 1.6 ja 1.3. Taimet joille annettiin hiilidioksidilannoitusta jatkuvasti, kehittyivät hitaammin kuin ne taimet, joille CO<sub>2</sub>-lannoitusta annettiin vain valoisana aikana. Juuristo kehittyi kaikissa CO<sub>2</sub>-lisäystä saaneissa taimissa erittäin voimakkaasti.



Taulukko 2. Tomaatin taimikasvatuskokeet 1963–1964.  
 Table 2. Experiments on growing young tomato plants, 1963–1964.

Kaappi n:o Chamber No.	Kasvuolosuhteet Growing circumstances				Tulokset 22. 12. 1963 Results		
	% CO <sub>2</sub>	Lämpötila Temperature °C	Päivän pituus t Day length h	Taimen pituus cm Length of main stem cm	Lehtiä/taimi Leaves/plant	Taimen paino g Weight per plant g	Juurret - 0—10 Roots
Koe I Experiment I	23. 11. 1963—22. 2. 1963						
1	0.05	19	15	11.7	6.1	9.0	6
2	0.2 (15 h)	30—12	15	24.9	8.4	22.1	10
3	0.2 (15 h)	19	15	15.6	7.1	23.1	10
Koe II Experiment II	23. 12. 1963—13. 1. 1964						
	13. 1. 1964						
1	0.05	23	24	9.3	5.1		6
2	0.2 (15 h)	23	24	11.1	5.6		6.4
3	0.2 (15 h)	35—12	15	18.2	6.9		7
4	0.05	35—12	15	10.6	5.5		3.6

T o m a a t t i. Tomaatin taimikasvatuskokeissa oli lajikkeena *Selandia OE*. Kylvä suoritettiin 10—12 päivää ennen kasvatuskappeihin siirtämistä. Kasvatuskappeissa vallinneet koeolosuhteet ja -tulokset esitetään taulukossa 2.

Kun kasvatuskappien ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli 0.2 %, oli 30 vrk:n kuluttua hiilidioksidilannoituksen alkamisesta tuorepaino tainta kohti yli kaksinkertainen sekä 19°:ssa (23.1 g) että 30—12°:ssa (22.1 g) verrattuna 0.5 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa ja 19°:ssa kasvaneisiin taimiin (9.0 g). Korkeassa päivälämpötilassa taimista tuli kuitenkin liiaksi venyneitä.

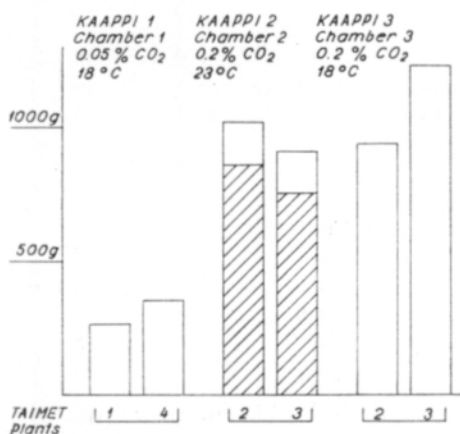
Tomaatin taimikasvatuskokeita jatkettiin tutkimalla esi- ja jatkokasvatusolosuhteiden vaikutusta kukinnan ja sadon aikaisuuteen. Esikasvatuksen aikana (20 vrk) ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli 0.05 % tai 0.2 %, lämpötila 23° tai 35—12° ja päivän pituus joko 24 tai 15 tuntia. Pisimmät taimet (18.2 cm) kehittyivät 0.2 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa, 35—12°:ssa, 15 tunnin pituisessa päivässä. Niissä oli myös kasvulehtiä eniten, 6.9 kpl/taimi. Muissa olosuhteissa kasvaneet taimet olivat miltei saman kaltaisia lukuun ottamatta 0.05 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa ja 35—12°:ssa kasvaneita taimia, joiden juuristo oli heikko.

Jatkokasvatus suoritettiin kasvatuskappeissa seuraavasta asetelmasta ilmenevissä olosuhteissa.

Kaappi	% CO <sub>2</sub>	Lämpötila °C	Valaistus klo 12—3	Taimet kokeessa II koejäsenistä
1	0,05	18	15. 1.—26. 2. 1964 6000 luksia	1 ja 4
2	0.2	23	26. 2.— 8. 4. 1964	2 ja 3
3	0.2	18	3000 luksia	2 ja 3

Ne taimet, jotka eivät olleet saaneet CO<sub>2</sub>-lannoitusta, kasvatettiin edelleen ilman CO<sub>2</sub>-lisäystä, ja ne, jotka olivat saaneet CO<sub>2</sub>-lannoitusta kasvatettiin 0.2 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa kahden eri lämpötilan vallitessa.

Taimet, joiden jatkokasvatus tapahtui 0.2 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa ja 23°:ssa, alkoivat kukkia ensimmäiseksi, 28—30. 1. eli 36—38 vrk:n kuluttua ensimmäisen koulinnan jälkeen. Toisen hiilidioksidilannoitusta saaneen ryhmän kukinta alkoi keskimäärin 6 päivää myöhemmin, ja ilman CO<sub>2</sub>-lannoitusta kasvaneet taimet kukkivat keskimäärin 10 päivää myöhemmin.



Kuva 5. Tomaatin taimien sato tainta kohden 8. 4. 1964 mennessä.

Fig. 5. Tomato crop per plant by 8. 4. 1964.

Viiyoittamaton pylväs = raa'at tomaatit  
 Blank column = unripe tomatoes  
 Viiyoitettu pylväs = kypsät tomaatit  
 Ruled column = ripe tomatoes

Tuloksista 8. 4. 1964 (kuva 5) ilmeni, että ilman CO<sub>2</sub>-lannoitusta kasvaneet taimet kehittyivät hitaammin ja antoivat pienemmän sadon kuin 0.2 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa kasvaneet taimet. Hiilidioksidilannoitusta annettaessa 23°:ssa tomaatit kypsyivät nopeasti, mutta yksittäiset marjat olivat pienempiä (39.8 g) kuin 19°:ssa kasvaneiden taimien (45.2 g). Taimikasvatusvaiheessa 24 tunnin valotusta saaneet taimet kehittivät 18°:n lämpötilassa hitaammin satoa kuin 15 tunnin valotusta saaneet taimet samassa lämpötilassa.

Salaatti ja selleri. Salaatin taimikasvatuskokeissa oli lajikkeena Herttaässä Toftø ja sellerin taimikasvatuskokeissa Alabasterin jätti. Salaatti kylvettiin 10 päivää ja selleri 1 kk ennen kasvatuskaappeihin siirtämistä. Kasvatuskaapeissa vallinneet koelosuhteet ja -tulokset esitetään taulukoissa 3 (salaatti) ja 4 (selleri).

Ensimmäisessä kokeessa salaatti kehittyi nopeimmin ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden ollessa 0.2 %, lämpötilan 19° ja päivänpituuden 15 tuntia. Tällöin 100 tainta painoi yhteensä 3.50 kg, kun taas samassa lämpötilassa ja päivänpituudessa 0.05 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa kasvaneet 100 tainta painoivat 0.93 kg. Korkea päivälämpötila ei nopeuttanut kasvua. Jatkuva valaistuksessa 23°:ssa (koe II), 0.2 %:n CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa, koeajan ollessa 20 vrk, salaatin taimet kehittyivät painavammiksi (0.50 kg/100 tainta) kuin 35—12°:ssa (0.45 kg/100 tainta). Jos ei ollut annettu hiilidioksidilannoitusta, korkea päivälämpötila miltei pysähdytti kasvun (0.07 kg/100 tainta).

Sellerin taimikasvatuskokeissa olivat päivälämpötilat 32° tai 24°, yölämpötilat 10—12° tai 17—19°, päivänpituus 15 tuntia ja ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus 0.05 %

Taulukko 3. Salaatin kasvatuskokeet 1963–1964.  
 Table 3. Experiments on growing lettuce, 1963–1964.

Kaappi n:o Chamber No.	Kasvuolosuhteet Growing circumstances			Tulokset 22. 12. 1963 Results	
	% CO <sub>2</sub>	Lämpötila Temperature °C	Päivän pituus Day length h	Sato kg/100 tainta Crop kg/100 plants	
Koe I Experiment I	23. 11. 1963–22. 12. 1963				
1	0.05	19	15	0.93	
2	0.2 (15 h)	30–12	15	3.30	
3	0.2 (15 h)	19	15	3.50	
Koe II Experiment II	23. 12. 1963–13. 1. 1964			13. 1. 1964	
1	0.05	23	24	0.34	
2	0.2 (15 h)	23	24	0.50	
3	0.2 (15 h)	35–12	15	0.45	
4	0.05	35–12	15	0.07	

Taulukko 4. Sellerin taimikasvatuskoe 30. 12. 1964–21. 1. 1965.  
 Table 4. Experiment on growing young celery plants, 30. 12. 1964–21. 1. 1965.

Kaappi n:o Chamber No.	Kasvuolosuhteet Growing circumstances			Tulokset 21. 1. 1965 Results			
	% CO <sub>2</sub>	Lämpötila Temperature °C	Päivän pituus Day length h	Pisimmän leh- den pituus cm Length of long- est leaf cm	Lehtiä/taimi Leaves per plant	Taimen paino g Weight per plant g	Juuret - 0–10 Roods
1	0.2 (15 h)	32–10	15	14.7	6.2	2.8	5.9
2	0.2 (15 h)	24–19	15	13.8	6.5	4.0	7.0
3	0.05	32–12	15	12.6	5.6	2.5	5.4
4	0.2 (24 h)	24–17	15	11.6	5.4	3.5	6.2

tai 0.2 %. Korkea päivälämpötila, 32° aiheutti CO<sub>2</sub>-lannoituksen antamisesta riip-  
 pumatta venyneet taimet, jotka painoivat 2.5–2.8 g. Kun 24–19°:ssa hiilidioksidi-  
 lannoitusta suoritettiin vain valoisa aikana, taimet kehittyivät paremmiksi (paino  
 4.0 g ja lehtiä 6.5 kpl tainta kohti) kuin ne taimet, jotka kasvoivat jatkuvassa 0.2 %:n  
 CO<sub>2</sub>-pitoisuudessa (paino 3.5 g ja lehtiä 5.4 kpl tainta kohti).

### *Tulosten tarkastelu*

Hiilidioksidilannoitus lisää lukuisten tutkimusten mukaan merkittävästi satoa. Kuitenkin käytännön viljelyssä on toisinaan päädytty käsitykseen, ettei hiilidioksidilannoitus ole lisännyt kasvua. Lannoituksen tuloksettomuuden syytä saattaa olla ravinteiden niukkuus, liian alhainen lämpötila tai jokin muu tekijä, jota menetelmän uutuuden vuoksi ei riittävästi osata tarkata. Niinpä meilläkin on muutaman viime vuoden aikana moniin puutarhoihin asennettu CO<sub>2</sub>-polttimia kasvihuoneisiin ja annettu ohje, että 0.10—0.20 %:n hiilidioksidipitoisuus on tavoite ja että polttopaine on säädettävä kasvihuoneen tilavuuden mukaan. Kasvihuoneen tiiviys, tuuletus, kasvuston rehevyys sekä kasvualustan maatumisaste ovat usein jääneet huomiotta, ja kuitenkin, kuten edellä selostetusta käy ilmi, on näiden tekijäin vaikutus kasvihuoneen ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen ratkaiseva.

Uudet kasvihuoneet meillä ovat tavallisesti niin tiiviitä, ettei liitosten kautta haihdu paljon hiilidioksidia ulkoilmaan. Sitä vastoin vanhat kasvihuoneet sekä erityisesti ne, jotka jaetaan osastoihin muoviväliseinillä, kaivannevat ennen hiilidioksidilannoituksen aloittamista erityisen tarkistuksen.

Tuuletus, varsinkin kesäisin, rajoittaa hiilidioksidilannoituksen ajankohtaa. Nykyään onkin propaanipolttimien syttyminen kytkettävissä tuuletuslaitteiden toimintaan. On esitetty ajatus, että hiilidioksidia lisättäisiin jo edellisenä iltana tai aikaisin aamuyöllä kasvihuoneeseen, jotta heti valon voimistuttua tarpeeksi kasveilla olisi runsaasti hiilidioksidia käytettävissä. Nyt selostettujen taimikasvatuskokeiden valossa näyttää kuitenkin siltä, että yöllä vallitseva korkea CO<sub>2</sub>-pitoisuus saattaa vaikuttaa haitallisesti kasvien kehittymiseen ja sitä paitsi öiseen aikaan kasvien hengitys ja kasvualustan CO<sub>2</sub>-tuotto saattavat yhteisesti kohottaa kasvihuoneilman hiilidioksidipitoisuuden nykyään soveliaana pidettyyn määrään, 0.1—0.2 %:iin.

Propaanin poltossa kehittyvä hiilidioksidi leviää verraten nopeasti kasvihuoneen eri osiin, mutta tuntuu kuitenkin ilmeiseltä, että ilman kierron lisääminen saattaa tehostamalla lehteä lähinnä olevan ilmakerroksen vaihtumista edistää CO<sub>2</sub>-lannoituksen vaikutusta. On luultavaa, että taimikasvatuskokeissa saadut CO<sub>2</sub>-lannoitukselle varsin myönteiset tulokset johtuvat osittain kasvatuskapeissa vallinneesta erittäin voimakkaasta ilmankierrosta.

Suoritetuissa taimikasvatuskokeissa hiilidioksidilannoitus nopeutti selvästi kurkun, tomaatin sekä salaatin taimien kehittymistä. Kurkulle korkea päivälämpötila, 30—35°, osoittautui edulliseksi, samoin kuin viileä yö, 10—12°. Saadut tulokset puhuvat tavanomaista taimikasvatusten menetelmää vastaan, sillä juuri tasaista lämpötilaa on pidetty kurkun taimikasvatuksen onnistumisen edellytyksenä. Kurkulle hiilidioksidilannoitusta annettaessa jatkuva valaistus näytti epäedulliselta. Jatkuvan valaistuksen haitat näkyvät tomaatilla jo tavanomaisessa taimikasvatuksessakin. Kasvun häiriytyminen, joka ilmenee lehtien laikkaisuutena, johtunee hiilihyydraattien liiallisesta kertymisestä assimiloiviin elimiin.

Hiilidioksidilannoitusta annettaessa ei tomaatin, salaatin ja sellerin kasvatuksessa ole syytä nostaa ilman päivälämpötilaa niin huomattavasti kuin kurkun kasvatuksessa, sillä korkea lämpötila, joskin se lisää pituuskasvua, aiheuttaa venymistä.

Tomaatin taimikasvatuksen ja jatkokasvatuksen aikana annettu CO<sub>2</sub>-lannoitus nopeutti kukintaa ja aikaisti satoa. Kukkaterttujen lukumäärää ei CO<sub>2</sub>-lannoitus sen sijaan lisännyt.

Hiilidioksidilannoitusta saaneiden taimien juuristo kehittyi erittäin voimakkaaksi ja muodostui hyvin. Tällainen juuristo palveleekin hyvin kasvin veden ja ravinteiden ottoa sekä selittää osaltaan maanpäällisten osien kasvun lisääntymisen.

### Tiivistelmä

Vuosina 1963—65 suoritetuissa hiilidioksidilannoitusta koskevista tutkimuksissa selvitettiin kasvihuoneen tiivyyden, kasvuston, tuuletuksen, kasvualustan sekä CO<sub>2</sub>-polttimien sijoittelun vaikutusta kasvihuoneilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen. Kävi ilmi, että nämä tekijät saattavat jäädä hiilidioksidilannoitusta toteutettaessa huomiotta, jolloin voidaan saada väärä käsitys CO<sub>2</sub>-lannoituksen vaikutuksesta.

Taimikasvatuskokeissa CO<sub>2</sub>-lannoitus (0.2 %) lisäsi taimien kasvua, mutta kasvun lisäys oli varsin läheisesti kytkeytynyt lämpötilaan sekä päivänpituuteen. Suoritetuissa kokeissa kurkun taimien kasvu oli nopeinta, kun päivänlämpötila oli 30—35° ja yölämpötila 10—12° sekä päivänpituus 15 t. Tomaatille kehittyivät parhaat taimet 19°:ssa ja 15 tunnin päivässä. Hiilidioksidilla lannoitettaessa tomaatin sato aikaistui huomattavasti. Salaatille 24 t:n pituinen päivä ja 19—23°:n lämpötila osoittautuivat näiden kokeiden mukaan edullisimmiksi.

### KIRJALLISUUS

- (1) BERKEL VAN, N. 1964. Teeltkundige aspecten van de toepassing van koolzuurgas. Meded. Dir. Tuinb. 27: 378—384.
- (2) DAUNICHT, H. J. 1961. Untersuchungen zur Wirkung des Kohlendioxyd-Angebotes auf den Ertrag von Treibgemüsen unter besonderer Berücksichtigung der Hydrokultur. Gartenb. wiss. 26: 96—107.
- (3) — 1961. Untersuchungen zur Wirkung des Kohlendioxyd-Angebotes auf den Ertrag von Treibgemüsen unter besonderer Berücksichtigung der Hydrokultur. Ibid. 26: 109—132.
- (4) GAASTRA, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Medd. van de Landbouwhogeschool te Wageningen 59. 68 p.
- (5) GOLDSBERRY, K. L. 1963. Effects of carbon dioxide on carnations. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci 83: 753—760.
- (6) — & HOLLEY, W. D. 1963. Observations on carbon dioxide in greenhouse atmospheres. Ibid. 83: 839—843.
- (7) HOPEN, H. J. & RIES, S. K. 1962. The mutually compensation effect of carbon dioxide concentrations and light intensities on the growth of *Cucumis sativus* L. Ibid. 81: 358—364.
- (8) HÄRDH, J. E. 1958. Kasvihuonekurkun hiilidioksidilannoitus. Puutarha-Uutiset 10: 18—19.
- (9) KLOUGART, A. 1963. Agurkkulturens kuldioxydforsyning. Gartner-Tidende 79: 463—468.
- (10) — 1965. Agurker og kuldioxyd. Ibid. 81: 203—207.
- (11) SALOKANGAS, K. 1964. Om inverkan av växthusluftens CO<sub>2</sub>-halt. Nord. Jordbr.forskn. Supplement 8: 266.
- (12) SCHICKEDANZ, F. 1965. CO<sub>2</sub>-Düngung bei Treibtomaten. Mitteilungen Obst und Garten 15: 57—60.
- (13) WITTWER, S. H. & ROBB, W. M. 1964. Carbon dioxide enrichment of greenhouse atmospheres for food crop production. Econ. Bot. 18: 34—56.

## SUMMARY:

## CARBON DIOXIDE AND ITS SIGNIFICANCE IN GROWING YOUNG VEGETABLE PLANTS

IRMA VOIPIO

*Department of Horticulture, University of Helsinki, Viik*

In the last few years the application of CO<sub>2</sub> in greenhouses has become popular in Finland. Today about 15 % (19 ha) of all the heated greenhouses are equipped with propane burners for the enrichment of CO<sub>2</sub>. In this paper the factors which influence the CO<sub>2</sub> content of the greenhouse as well as the airtightness of the greenhouse, the crop density, the growth substrate and the ventilation are discussed. These factors, beside the volume of the greenhouse, determine how much and at what time the CO<sub>2</sub> is to be added. In the greenhouses where the observations were made, the CO<sub>2</sub> was added by burning propane, and the CO<sub>2</sub> content was measured using a Riken-Keiki gas indicator (figures 1 to 4).

Experiments on growing young vegetable plants were carried out in growing chambers in 1963–65. When CO<sub>2</sub> was added (0.2%) the growth of the plants was accelerated. The acceleration was, however, closely dependent on the temperature, the day length and the time when the CO<sub>2</sub> was added (only during day time or also during the night).

Young cucumber plants grew best, using the CO<sub>2</sub> enrichment, when the day temperature was 30–35° C and the night temperature 10–12° C and the day length 15 hours. In subsequent days with additional CO<sub>2</sub>, the growth of the cucumber plants was disturbed, the leaves became yellow and spotted. Young tomato plants developed best, when, using additional CO<sub>2</sub>, the temperature was 19° C and the day length 15 hours. Lettuce developed most rapidly in continuous light with enriched CO<sub>2</sub>, but lettuce, as well as celery, grew too much in length when the day temperature was 32–35° C.

If the CO<sub>2</sub> was added only in day time, the young plants were better than if it was given during 24 hours. The roots of the plants fed with additional CO<sub>2</sub> developed vigorously and were well shaped compared to those grown without CO<sub>2</sub> enrichment.