

関東の農業気象 *E-Journal*

第 7 号

日本農業気象学会 関東支部会誌 電子媒体版

平成 22 年 11 月 (2010)

日本農業気象学会関東支部(2010 年度例会)

講演要旨集

2010 年 11 月 5 日 宇都宮大学峰キャンパス

(栃木県宇都宮市峰 350)

日本農業気象学会関東支部事務局
〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3
農業環境技術研究所 大気環境研究領域

関東の農業気象 E-Journal 第7 (2010) 目次

一般研究発表

防風網による地表面温度への影響の数値シミュレーション

杜 明遠・牛山 朋来 1

ポット植えダイズによる群落スケールと個体蒸発散量の関係

今 久・松岡延浩 2

カラガナ群落における運動量のバルク輸送係数の1年間の変化

天野晃太・松岡延浩・白龍・木村玲二・王秀峰・今久 3

ハイパースペクトルデータを使用した外来植物シナダレスズメガヤの分布推定

清水 庸・宮内 輝・盧 珊・石井 潤・鷺谷いづみ・大政謙次 4

細霧冷房温室における作物の蒸散速度の推定と環境シミュレーション

石神靖弘・手塚達也・後藤英司 5

光強度が葉菜類の成長と栄養成分の変動に及ぼす影響

彦坂晶子・田中麻美・後藤英司 6

シンポジウム

水稻の白未熟粒率、麦類の収量に影響を及ぼす気象要因

大谷和彦 7

埼玉県の麦長期栽培試験における気象条件と収量の関係

箕田豊尚 12

落葉果樹の休眠と開花の制御による気候温暖化に対応した果樹生産を目指して

本條 均 16

防風網による地表面温度への影響の数値シミュレーション

○杜明遠（農業環境技術研究所），牛山朋来（土木研究所）

防風網などの防風施設を用いると、風速は弱くなるとともに、温湿度も変わる。その内、特に地表面温度の分布とその時間変化を測定するには、大量の測器と人力が必要である。杜と真木（1995）は赤外線放射温度計で短時間内の温度分布の変化を連続的に熱画像として取り込み、温度分布の変化過程をキャッチし、防風網は乾燥状態では風上側で昇温を抑制する作用があり、湿潤状態では風下側で昇温作用があることを示した。そこで本研究は、数値シミュレーションモデルを利用し、防風網による異なる地表面状態の表面温度分布をシミュレートし、その要因を調べる。

数値モデル

使用した数値モデルは、YSA 社によって開発された A2Cflow である。詳しくは Yamada and Bunker (1988) に述べられている。また、Yamada (1982) のキャノピーモデルが導入されており、防風網による風の抵抗や日射による地温変化、水蒸気フラックスなどを計算することができる。今回シミュレートの設定は図 1 に示すように、領域 50m×40m×100m、ネット：4mm 目（密閉率 30%）、高さ 1m。初期値、境界条件：右向き 2m/s の風を全層で与える。乾燥地表面：粗度 0.01、アルベド 0.2、土壌水分 0.0、熱伝導率 0.3、比熱 800、密度 1.6。湿潤地表面：粗度 0.005、アルベド 0.3、土壌水分 0.4、熱伝導率 2.2、比熱 1480、密度 2.0。

結果および考察

主の結果は、図 2 と図 3 に示すように、風下側（15m 以内）の地表面温度は風上側より高いが、乾いた状態では風下側と対照区（防風網と離れたところ）の地表面温度差は小さく、ほぼ同じであった。湿った状態では風上側（5m 以内）と対照区の地表面温度はほぼ同じであった。

すなわち、赤外線放射温度計の観測結果と同じように、地表面が湿潤状態では、防風施設による風下側で昇温効果があり、乾燥状態では、風上側で昇温を抑制する作用があることを明らかにした。風上側には防風網による上昇気流があり、蒸発散量の減少が見られないが、風下側には下降気流があり、蒸発散量の減少がよく見られる。乾燥状態の時は、風上側の降温は、蒸発（蒸散）があまり行わないから、風上側では上昇気流による顕熱損失の増加があるためと考えられる。逆に、湿潤状態の時、風下側での昇温は、風下側で風速減少に伴う潜熱損失の減少（蒸発散の減少）があるためと考えられる。

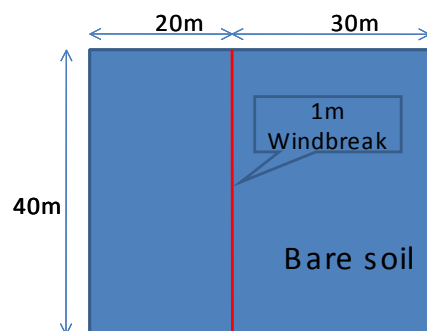


図 1 ミューレーションの範囲（40（横）×50（長）×100（高）と防風網の位置など。

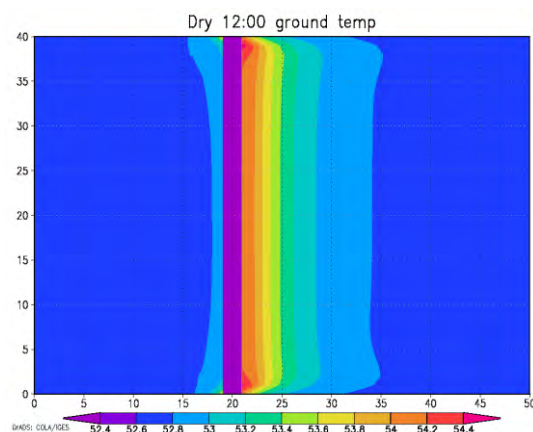


図 2 防風網による地表面温度の分布（地表面が乾いた状態）。

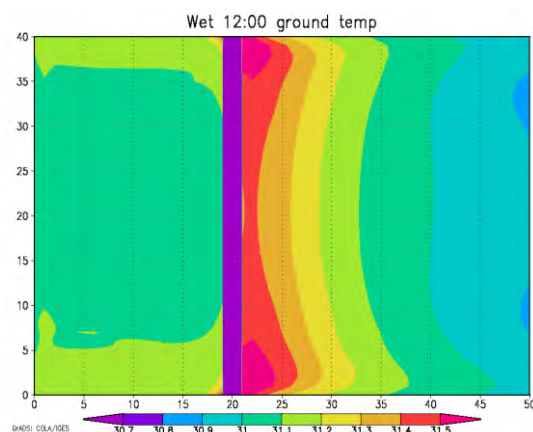


図 3 防風網による地表面温度の分布（地表面が湿った状態）。

ポット植えダイズによる群落スケールと個体蒸発散量の関係

○今 久, 松岡延浩 (千葉大園芸)

はじめに

小規模な植物群落では, 移流や日射の影響を受けて, 大きな群落より個体当たり, また面積当たり蒸発散量が多くなると考えられる. ここでは, ポットに植えたダイズを用いて, 大きさの異なる群落を作り, 個体蒸発散量が群落の大きさでどのように変わるか実験を行ったので, 2010年の結果に2008年の結果 (2008年度例会要旨集, p 12) も加えて報告する.

方法

裸地に5個体から61個体のポット植えダイズを用いて小さな群落を作り, 実験を行った. いずれの場合も, 35 cm四方の正方形の中央にも一個体を置く, 千鳥配置にした. 1m^2 当たり16.3個体になる. また, その群落から離れたところに孤立した状態で3または4個体を配置した. 10時ころ水を十分与えた各ポットの重量を測定してから配置し, 16時ころまでに再度各ポットの重量を測定して, その間の蒸発散量を1時間当たりの蒸発散量として求めた. また, 蒸発散量の基準として, 群落一層モデル (以後, モデル) の近似式 (近藤, 1994) において, バルク係数 $C_H=0.01$, 蒸発効率 $\beta=0.7$ として求めた結果を使用した. 気温, 湿度, 日射, 大気放射は1.5m, 風速は2mの高さで1分ごとに測定した. 図の蒸散指数の観測値とは, 群落, 孤立, モデルによる1時間1個体当たりの蒸発散量をそれぞれ E_x , E_m , E_0 として, $F(x) = (E_x - E_0) / (E_m - E_0)$ と表したときの $F(x)$ の値である. また, この蒸散指数は, 指数関数で $F(x) = \exp \{-\sigma (x-1)\}$ と表すのが一般的である. ここで x は群落個体数である. σ を減衰係数と呼ぶ.

結果

表は2010年の結果である. 蒸発散量は, 群落または孤立に使用した個体の平均値である. 群落を形成する個体からの蒸発散量は孤立した個体からの蒸発散量より少なくなる. モデルの値はかなり少ない. 蒸散指数を縦軸に, 横軸に群落の個体数をとって表したのが図である. 図には2008年の結果も含んでいる. 指数関数で表した場合の曲線も示している. 図に示した曲線は, 減衰係数を $1/35$ とした場合の結果である. 図から2008年と2010年の結果はほぼ一致し, 群落が大きくなると, 個体当たりの蒸発散量が減って, モデルの値に近づく様子が分かる. しかし, 群落が小さいところにおける蒸発散の減衰は指数関数で示すより大きいようである.

表 2010年の使用した個体数, 個体蒸発散量, 蒸散指数

実験日	個体数	1時間1個体当たり蒸発散量 (g)			蒸散指数
		群落	孤立	モデル	
7月19日	61	68.8	91.4	59.0	0.30
7月20日	41	68.4	97.5	40.9	0.49
7月21日	25	83.2	110.6	42.9	0.60
7月27日	61	68.5	90.7	55.0	0.38
7月28日	41	68.0	88.0	58.0	0.33
7月31日	25	60.8	82.2	33.5	0.56
8月5日	13	78.6	90.3	62.0	0.59
8月5日	5	83.7	90.3	62.0	0.77
8月6日	25	67.0	84.3	55.9	0.39

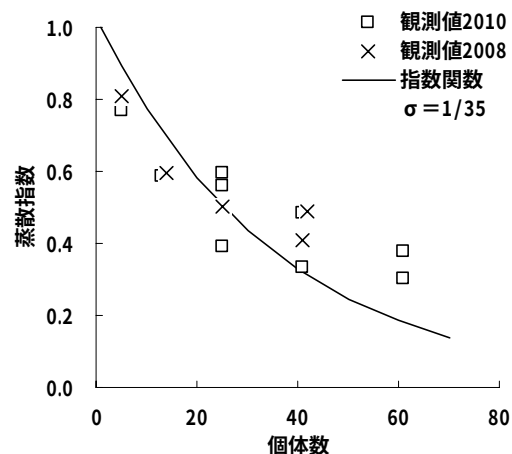


図 群落の個体数と蒸散指数

カラガナ群落における運動量のバルク輸送係数の1年間の変化

○天野 晃太 (千葉大園芸)・松岡 延浩 (千葉大院園芸)・白龍 (瀋陽農大)
木村 玲二 (鳥大乾地研)・王 秀峰 (北大院農)・今 久 (千葉大院園芸)

1. はじめに

植物が大きくなると、その土地の風の運動量吸収が大きくなりダスト発生が抑制される。風の運動量吸収はダスト発生を考える上で一つの手掛かりとなり、風の運動量吸収の指標として運動量のバルク輸送係数が利用される。そこで本研究では、中国東北部のカラガナ(*Caragana korshinskii*)群落において、運動量のバルク輸送係数の1年間の変化を調べた。また、その変化の理由を、カラガナ群落のLAIの変化や安定度から考察した。

2. 方法

中国内蒙古自治区ホルチン砂地において、2009年9月12日より観測を開始し、2010年9月27日までのデータを解析した(2010年2月7日から25日までのデータは欠測)。超音波風速温度計(USA1: METEK)を高度3mに設置し、データロガー(CR1000: Campbell Scientific)でサンプリング間隔を10Hzで集録した。超音波風速温度計より得られたデータから30分平均の水平風速 U と摩擦速度 U_* を計算した。バルク輸送係数 C_d を、 $(U_*/U)^2$ として計算した。

また、カラガナ群落のLAIは現地調査で得られた。

3. 結果・考察

バルク輸送係数の1年間の変化を図1に示す。また、傾向を見やすくするため20日の移動平均にし、LAIと比較したのが図2である。バルク輸送係数は5月上旬から7月下旬まで増加傾向にあり、8月上旬から11月上旬まで減少傾向となり、11月下旬から4月下旬まではほぼ一定の値になることが分かった。また、7月19日に最大値となった。LAIの変化と比べると、値が増え始める時期と7月までの変化から、バルク輸送係数の変化傾向はLAIと同じ傾向だった。しかし、8月はバルク輸送係数が減少したのに対し、LAIは増加した。これは、カラガナ群落の葉が8月に半分ほど虫に食害されたが、LAI調査は食害の少ない葉を選んだために実際のLAIよりも値が大きく出たと考えられる。

また、図1のばらつきの原因として安定度が関係していた。バルク輸送係数を安定度ごとに分けると、値は安定のときは小さく、不安定のときは大きくなる傾向があった。

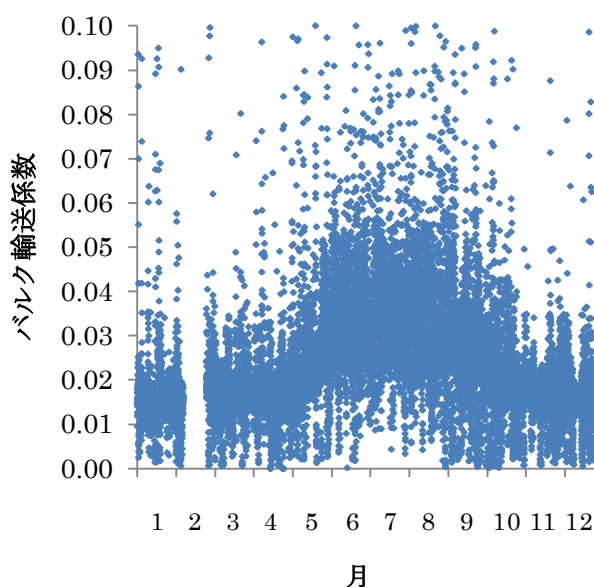


図1 バルク輸送係数の年変化

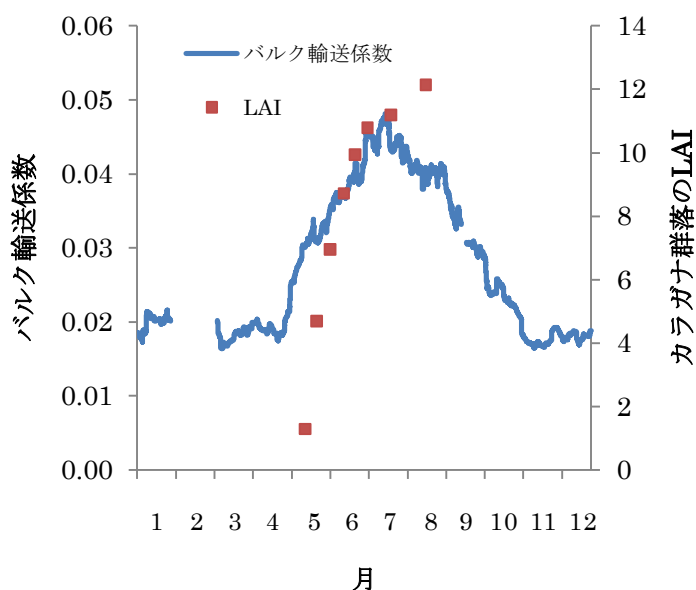


図2 移動平均にしたバルク輸送係数とLAIの年変化

ハイパースペクトルデータを使用した外来植物シナダレスズメガヤの分布推定

○清水 庸*, 宮内 輝*, 盧 珊**, 石井 潤*, 鷺谷いづみ*, 大政謙次*

(*東京大学, **東北師範大学)

1. シナダレスズメガヤとは

生物多様性の損失に関わる課題のひとつとして、外来種の持ち込みによる生態系の攪乱がある。多年生草本のシナダレスズメガヤ (*Eragrostis curvula*) は法面緑化用の植物として国内に導入されたものであるが、近年、多くの河川において分布域が拡大している。鬼怒川中流部の砂礫質河原では、シナダレスズメガヤの侵入が、カワラノギクやカワラハハコなどの河原固有種の生育適地を縮小させている可能性がある(村中・鷺谷, 応用生態工学, 2001)。シナダレスズメガヤは、種子が上流部から下流部に運ばれ、その分布域を拡大していると考えられる。その分布拡大の動態を明らかにするため、そして、シナダレスズメガヤの除去計画の策定において、種子を生産する「開花したシナダレスズメガヤ」の分布推定が必要とされている。本研究では、航空機ハイパースペクトルデータを使用して、鬼怒川河川敷におけるシナダレスズメガヤの空間分布の推定を試みた。リモートセンシングの利用は、実地踏査と比較して、広域を対象とした情報の取得や省力化が可能となる。

2. データおよび推定方法

対象地域は栃木県宇都宮市・さくら市の鬼怒川氏家大橋の周辺であり、対象地域の面積は河道、河川敷および堤防を含む約 125 ha である。シナダレスズメガヤは 6 月～7 月頃に開花する。開花前・後の時期として、2005 年 5 月 26 日と 6 月 25 日において、ハイパースペクトル画像 (AISA Eagle センサ) を取得した。取得したデータの空間分解能は 1.5 m である。観測波長域は 400～1000 nm であり、波長分解能が約 9 nm, 68 バンドにより構成されている。同時期に行った植生調査では 80 箇所において、シナダレスズメガヤの被度および他の植物も含めた植物被覆率を記録した。推定手順は以下のとおりである。①幾何補正の後、大気補正として、放射輝度画像から、「舗装された道路」の放射輝度データを抽出し、その値を元に、相対反射率画像を求めた。②開花後 (6 月) のシナダレスズメガヤと土壌の分光反射率は類似しているため、シナダレスズメガヤの分布推定において、土壌は誤差要因となる。そこで、開花前 (5 月) の画像において植生指数 NDVI を算出し、NDVI の閾値を段階的に変化させ、土壌のピクセルを除き、解析対象地域を選定した。③ISODATA 法によって、開花後 (6 月) の画像において土地被覆分類を行った。シナダレスズメガヤの被度が高い植生調査区 (被度 10%以上) に含まれる土地被覆分類クラスを、シナダレスズメガヤに該当する分類クラスと設定し、シナダレスズメガヤの空間分布を推定した。

3. 結果

NDVI の閾値と ISODATA 法の分類クラス数の各組み合わせにおけるシナダレスズメガヤの分布推定の検証結果 (Kappa 係数) を図に示す。NDVI の閾値 0.043 そして ISODATA 法の分類クラス数 70 の時に、Kappa 係数 0.68 (一致率 89.7%) となり、高い推定精度を示した。分類クラス数には有意な差 (Two-way ANOVA, $p < 0.05$) が見られ、分類クラス数 30～70 の時は、クラス数 20 の時と比べ、推定精度が向上した (Tukey, $p < 0.05$)。NDVI の閾値について、有意な差が見られなかったが、閾値 0.043 と 0.078 のとき、推定精度が高かった。これはシナダレスズメガヤの被度 10%を境界値として、有無の推定を行っていることに関わると考えられる。以上の結果に基づいて、シナダレスズメガヤの分布推定図を作成した。

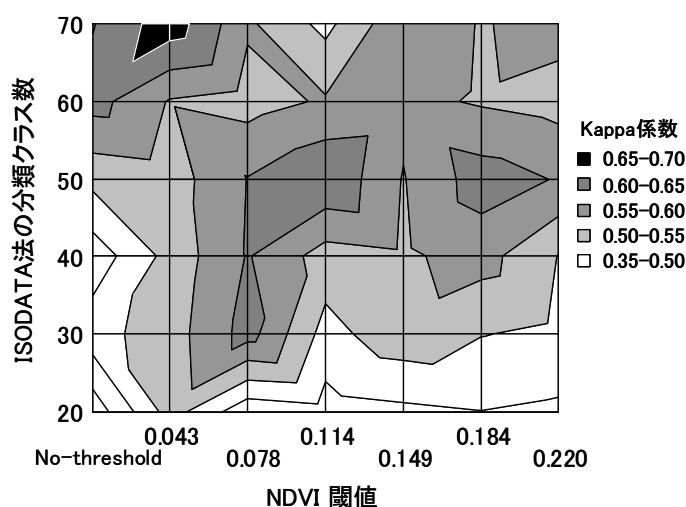


図 Kappa 係数のコンター図

細霧冷房温室における作物の蒸散速度の推定と環境シミュレーション

○石神靖弘, 手塚達也, 後藤英司 (千葉大学大学院園芸学研究科)

はじめに 日本の夏季は日射負荷が高いため温室内気温（以下、内気温）が 40°C を超えることもある。それゆえ周年栽培を行なう場合、夏季の高温対策として冷房が必要になる。日本における温室冷房法では蒸発冷却法の一つである細霧冷房法が最も普及している（林, 2003）。しかし、細霧冷房効果は気象環境に左右されるため、たとえば温室の外気が高湿度の場合、蒸発可能な細霧の量は減少し冷房の効果は低下する。よって新規に周年栽培用の温室を建設する場合、気象データから夏季の内気温を予測し、栽培作物の生育適温を実現できるか判断する必要がある。筆者らは温室外の気象条件を入力し、設定された温室構造・装備等から細霧冷房下の内気温を推定するプログラムを開発し（宮田ら, 2008）、実際の温室での計測結果との比較検証を行ってきた。しかし予測精度を上げるためには、もう一つの蒸発源である温室内作物の蒸散量も推定する必要がある。そこで、本研究では温室内外の気象データから床面積当たりの蒸散速度を推定することを試み、さらに、内気温の推定を行った。

材料および方法 トマトを栽植密度 2.8 株/m^2 で栽培している単棟両屋根式ガラス温室（床面積 26.4 m^2 、棟高 3.5 m ）に二流体方式の細霧冷房装置を導入し、細霧冷房の試験を行った。Handarto et al. (2006) の式を用いて、噴霧速度を $0\text{--}0.24 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の範囲で調節し連続噴霧を行った。2010 年 5 月 16 日から 7 月 17 日の間、細霧冷房下の蒸散速度を秤量法によりトマト植物体の重量変化から求めた。また、期間中 3 回に分けて破壊調査を行い、植物体の葉面積を測定した。上記期間中の $2/3$ のデータを用いて、温室内外の気象データと葉面積当たりの日蒸散量の関係を調べたところ、日積算温室外日射量と日蒸散量に高い相関が得られ、日射量から床面積当たりの蒸散速度を推定する式を得た。推定した蒸散速度に加え、細霧冷房装置諸元（保温比、細霧最大噴射量など）、目標内気温および気象データ（外気温、相対湿度および日射量）を内気温を予測するプログラムに入力し内気温の推定を行った。

結果および考察 結果の一例として 2010 年 7 月 9 日 6 時から 17 時における測定および推定結果を示す。この日のデータは蒸散速度の推定式を作成するのに用いなかったデータである。また、この日の細霧冷房の運転条件は内気温 26°C 以上、相対湿度 90% 以下であった。蒸散速度の推定に関しては一部の時間帯で、推定値が実測値を上回り、蒸散速度を過大評価している場合があったが、1 日を通じて、実測値と推定値はほぼ一致していた（図 1）。また、この蒸散速度の推定値を用いて求めた内気温の推定値は実測値とよく一致しており、推定誤差は最大でも 0.6°C であった（図 2）。以上より、温室外の日射量から細霧冷房下の温室内作物の蒸散速度を推定することにより正確な温室内気温の推定が可能になった。

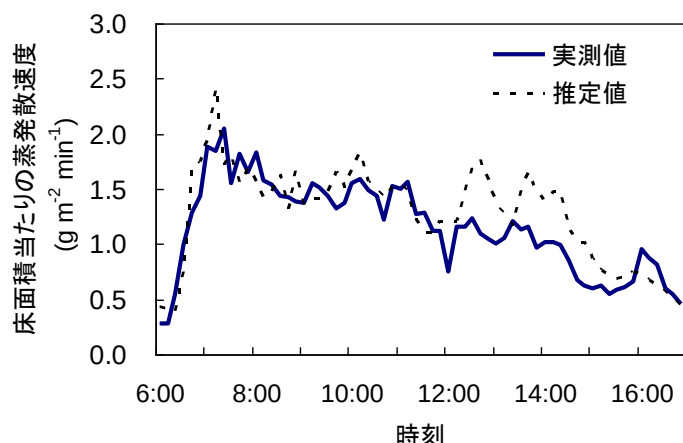


図 1 蒸発散速度の経時変化
(2010 年 7 月 9 日)

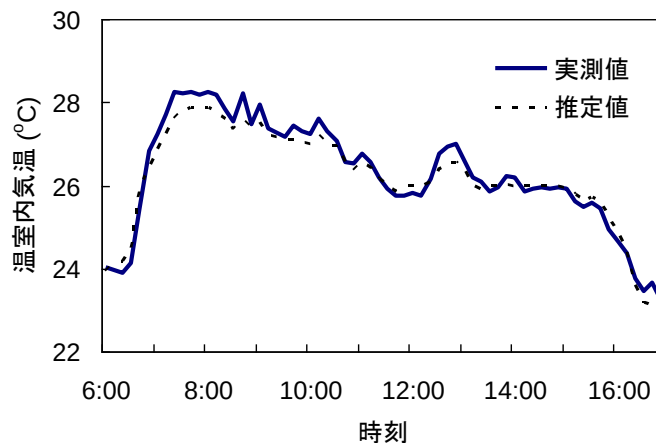


図 2 温室内気温の経時変化
(2010 年 7 月 9 日)

光強度が葉菜類の成長と栄養成分の変動に及ぼす影響

○彦坂晶子, 田中麻美, 後藤英司 (千葉大院園芸学研究科)

外界の気象条件に左右されずに栽培を行うことができる閉鎖型植物生産施設（植物工場）は、年間を通して一定品質の野菜を栽培できるため、作付けごとに栄養成分含有量の変動しやすい露地栽培や温室栽培では難しいとされる成分表示が可能と考えられる。また、野菜の栄養成分表示が付加価値となる可能性や、光環境や気温の制御によって栄養成分含有量を高められる可能性がある。しかし、人工光を用いた栽培においても、栽培場所により光強度のばらつきがあることから、植物工場で想定される光強度の範囲で栄養成分濃度の変動を調査することは野菜の栄養成分表示を可能とするために重要であると考えられる。そこで本研究では、植物工場で栽培されうる葉菜類に含まれる複数の栄養成分濃度について光強度の変化に伴う変動を調査した。

材料および方法

チンゲンサイ (*Brassica rapa* L. var. *chinensis*, “長陽”, タキイ種苗), コマツナ (*Brassica rapa* L. var. *peruviridis*, “楽天”, タキイ種苗) およびルッコラ (*Eruca vesicaria* “ロケット”, タキイ種苗) を用いた。同一の環境条件下 (白色蛍光灯, 明期 12 h, PPF 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 気温 24/20°C, 相対湿度 40-60%, CO_2 1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) で湛液水耕し, 播種後 24 日目から各作物, 各区 8 株を異なる光強度で栽培した。試験区は PPF 160, 200, 240, 280 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の 4 区とし, P160, P200, P240, P280 とした。光強度以外の環境条件は育苗条件と同様とし, 約 15 日間栽培した。培養液は大塚 A 処方 1/2 倍に大塚 5 号 1 倍濃度を添加したものをを用い, 3 日おきに全量更新した。

最大葉の葉長, 葉枚数, 総葉面積, 葉身および葉柄生体重, 乾物重, 乾物率および全生体重に対する葉身生体重の割合を測定および算定した。栄養成分含有量として, 生体重および乾物重あたりのアスコルビン酸, β カロテン, 鉄およびカルシウム濃度 (部位別, 個体あたり) を測定および算定した。1 株を葉身および葉柄に分け, それぞれの半分をアスコルビン酸と β カロテン分析試料とした。アスコルビン酸は収穫後直ちに 5% メタリン酸で抽出し, 酸化型アスコルビン酸に変換後に HPLC (LC-2010HT, 島津製作所 (株)) で分析した。 β カロテンは Glimore and Yamamoto (1991) の方法を一部改変し, アセトンで磨砕抽出したものを精製後に HPLC で分析した。1 株の残り半分を乾式灰化し, 定容後に原子吸光光度計 (AA-6200, 島津製作所 (株)) で鉄およびカルシウム分析に供試した。生育および栄養成分の測定結果から, 各光強度の変動係数を求めた。

結果および考察

光強度が高いほど, 最大葉の葉長, 葉枚数, 総葉面積, 葉身および葉柄生体重・乾物重が増加した。一方, 乾物率および全生体重に対する葉身生体重の割合に光強度の影響はみられなかった。チンゲンサイのアスコルビン酸濃度, ルッコラの β カロテンと鉄濃度を除き, 光強度による生体重あるいは乾物重あたりの栄養成分濃度に有意な差はみられなかった。

ルッコラの生育調査項目の変動係数は, チンゲンサイおよびコマツナよりも大となった。この原因としてルッコラは, チンゲンサイおよびコマツナと比較して品種としての育種が進んでおらず, 形態や生育速度が均一化していないことが考えられた。各作物とも根から吸収される鉄およびカルシウムの変動係数に光強度による影響はみられなかった。他方, チンゲンサイおよびコマツナの生体重あるいは乾物重あたりの β カロテン濃度の変動係数は, P280 で他の光強度より大となる傾向がみられた。 β カロテンは光合成産物の量が多いほど蓄積しやすいことや, 逆に光によって分解されることなどが知られ, 光強度が高い P280 区でみられた葉の相互遮蔽が変動を大とした原因のひとつと推察した。

これらの結果から, 育種的に形態や生育速度が均一化している葉菜類 (チンゲンサイやコマツナ) については, 本実験の範囲内での光強度のばらつきによる栄養成分の濃度変動は少なく, 植物工場で栽培された葉菜類の栄養成分表示が可能と考えられた。

水稻の白未熟粒率、麦類の収量に影響を及ぼす気象要因

大谷和彦（栃木県塩谷南那須農業振興事務所）

1 要旨

(1) 玄米の乳白粒、基白粒、背白粒等を総称した白未熟粒の発生要因を探った。栃木県産米の1等米比率と気象、農業形質の解析から、出穂後6～25日の飽差と最大風速、出穂前後各20日間の気温、出穂前30日間の日照時間、一穂粒数が白未熟粒発生要因であった。基白粒、背白粒は出穂後6～10日の登熟初期の送風処理により穂上着粒位置にかかわらず、乳白粒は出穂後21～25日の登熟中期の送風処理により、上・中位の1次枝梗に多く発生した。白未熟粒の発生には品種間差異があり、その発生量を推定できた。

(2) 麦類の収量と外観品質の変動要因を検討した。ビール大麦「あまぎ二条」及び小麦「農林61号」の茎数は2月の日最低気温が高いほど少なくなる傾向が認められ、茎立期前60日間の日最低気温が低いほど地上部乾物重は増加した。子実の外観品質は、ビール大麦「ミカモゴールド」は成熟期が遅いほど品質が優れ、小麦「農林61号」では出穂から成熟までの日数が短いほど品質が優れていた。以上のことから、麦類の生育、収量及び子実の外観品質の関係は麦種や品種により異なることが明らかになった。

高品質な米・麦は、品種の組合せ、播種期、肥培管理、水管理などの生産現場に応じた技術指針を作成し実践することにより、効果的に安定生産できる。

2 目的

(1) 日本の主食用穀物自給率は約60%と少なく、高品質な国産穀物の安定供給が求められている。また、一層の省力、低コスト生産技術が求められている。

(2) 一般に白未熟粒の気象による発生要因は高温、日照不足といわれている。しかし、大谷ら(2003)、石原ら(2005)、河津(2007)は白未熟粒による1等米比率の低下が高温や日照不足では説明できないことを報告している。

(3) 麦類は生育期間中多照が望ましく、特に春季の茎立期、出穂期には降雨が少ないことが多収になると言われている。しかし、ビール大麦、六条大麦、小麦の収量、品質の変動要因を同一条件で比較したものは少ない。そこで、3麦種を比較しながら、農業形質、収量、品質及び気象要因の関係を解析した。

3 水稻の白未熟粒率に及ぼす気象要因

(1) 材料と方法

ほ場に1株4本植えて移植し、出穂30日以上前の7月3日に1/5000ワグネルポットに1株ずつ株上げし、ガラス室で成熟期まで栽培した。温風処理は8時30分～16時30分の8時間、羽根の直径0.8mの大型扇風機を用いて、穂に風速4m/aの風が水平に当たるようにした。ガラス室の気温は天窓、側窓の開閉で調節し、湿度の調節は行わなかった。気温と湿度はおんどとり（TR-72UTJ、ティアンドデイ社）を、風速は風速計（Kestrel-4000、ニールセン・ケラーマン社）を用いて計測した。籾は風乾後、籾摺り機（テストTHU、サタケ社）を用いて玄米に脱ぷし、白未熟粒率は品質判定機（RS-2000、静岡精機社）を用いて計

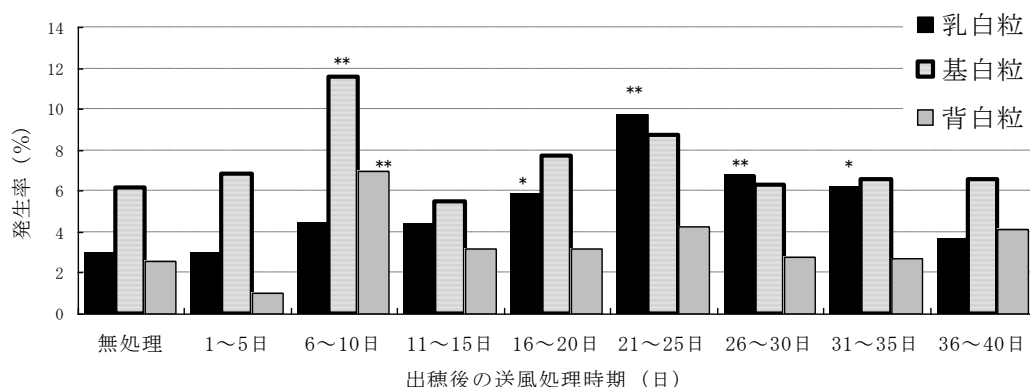
測した。さらに白未熟粒として分画された粒を、肉眼で未熟粒判定基準（財団法人全国食糧検査協会 2002）に準じて、乳白粒、基白粒、背白粒に判別した。

白未熟粒の推定式は、2002年に栃木県農業試験場黒ボク土水田で栽培した45品種に発生した白未熟粒を品質判定機で計測し、日平均気温、 $\{(100 - \text{日最小相対湿度}) \times \text{日最大風速}\}$ を用いて重回帰分析法(Excel 多変量解析統計 ver4.0)により導き出した。あわせて2002年県内現地18か所で発生したコシヒカリ、あさひの夢の白未熟粒率を品質判定機を用いて測定し、推定式の精度を検討した。

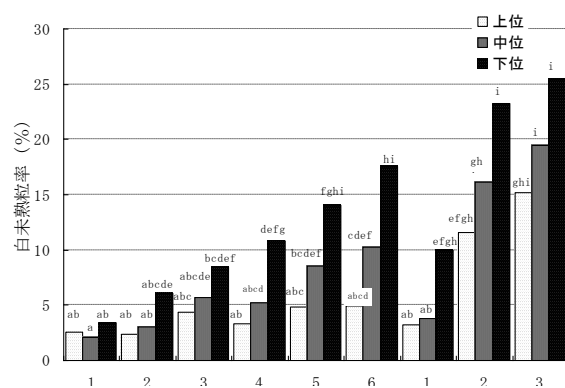
第1表 出穂期前後の気温、飽差、風速、日照時間及び生育と1等米比率の重回帰結果。

気象要因、生育			平均	標準 偏差	全20年間			日照不足年を除く16年間		
					標準 偏回 係数	F 値	単 相 関 係数	標準 偏回 係数	F 値	単 相 関 係数
気温 (℃)	最高 出穂前20日間	30.0	2.0	-1.2	8.1*	-0.45*	-1.7	16.1**	-0.41	
	最低 出穂前20日間	22.6	1.1	—	—	—	0.4	4.7	-0.11	
	日較差 出穂後20日間	8.0	1.0	—	—	—	-0.7	1.5	-0.57*	
飽差 (hPa)	出穂後6～10日, 16～20日	71.8	25.4	-0.9	4.0	-0.11	-1.1	16.7**	-0.48	
	出穂後6～10日, 21～25日	72.7	26.1	-1.2	6.5*	-0.22	1.4	12.8*	-0.34	
最大 風速 (m/s)	出穂後6～10日, 16～20日	3.7	0.8	—	—	—	-0.3	3.0	-0.40	
日照 (h)	出穂前30日間	113	38.9	0.9	6.4*	-0.39	1.5	36.6**	-0.05	
	出穂後30日間	133	38.4	0.8	4.7	0.07	—	—	—	
	1穂粒数 (粒/穂)	91	5.3	—	—	—	1.0	25.6**	0.17	
生育	全粒数 (百粒/㎡)	347	28.0	—	—	—	0.3	4.6	-0.07	
	倒伏程度	2.8	1.0	0.3	2.5	0.37	-0.3	4.4	-0.01	
	1等米比率(%)	85.7	13.1	—	—	—	—	—	—	

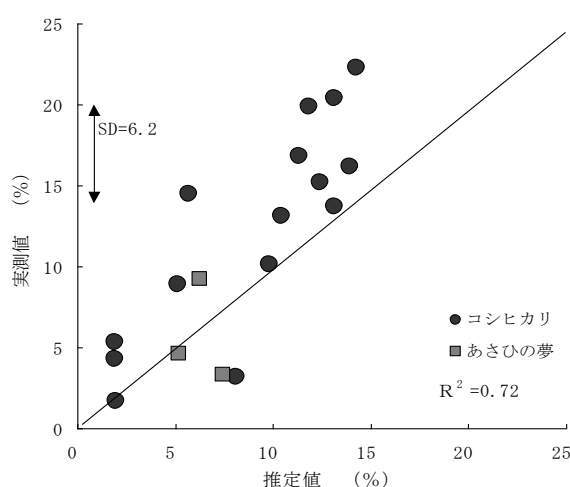
検討に用いた期間は1987～2006年の20年間。平均と標準偏差も20年間に對しての値。日照不足年は1988, 1989, 1998, 2001年。最高、最低気温、気温日較差、飽差、風速は示されている期間の平均値。日照時間は示されている期間の積算値。倒伏程度は0（無）～5（甚）。規準F値1.5以下の項目は除いた。**, *はF値（F検定）あるいは相関係数に1%, 5%水準で有意性があることを示す。



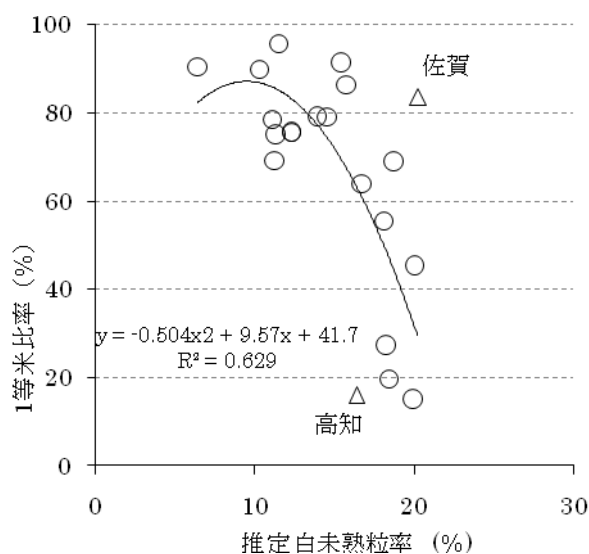
第1図 送風処理時期と乳白粒、基白粒、背白粒発生率。



第2図 着粒位置別の白未熟粒率。



第3図 推定白未熟粒率と実測値との関係。(2002年、栃木県内現地)



第4図 推定白未熟粒率と1等米比率。(2010年、主な米産出県)

(2) 結果

1987～2006年20年間の出穂前20日間の最高気温、出穂後6～10日、21～25日計10日間の平均飽差、出穂前30日間の積算日照時間は重回帰分析を用いた検討から1等米比率の変動に及ぼす影響が強い気象要因といえた(第1表)。

乳白粒は出穂後21～25日の5日間送風処理した水稻に最も多く発生した(第1図)。無処理に比べて有意に高かったのは出穂後16～35日と長期に渡っていた。

基白粒、背白粒は出穂後6～10日後に送風処理したものに多く発生した。

1次枝梗内の着粒位置に着目すると、白未熟粒率は上位の1次枝梗の1～6番粒間に差は認められなかった(第2図)。一方、中、下位の1次枝梗においては、着粒位置の番号が大きく、いわゆる弱勢穎花になるほど白未熟粒率は高まった。

日最小相対湿度と日最大風速の時期は出穂後6～25日とし、気温は出穂後0～20日の日平均気温の平均値を用いて、推定式を検討した。推定した白未熟粒率と、県内現地圃場で発生したコシヒカリ、あさひの夢の白未熟粒率は、発生率が低い時は一致し、発生率が高くなると推定

値は実測値よりも低くなったが、推定値と実測値は直線的関係にあった(第3図)。

2010年9月末における21道県の推定白未熟粒率と1等米比率の関係を第4図に示した。推定値と1等米比率の間には強い相関関係が認められた。2等以下になった主な理由は、心白及び腹白が44%、カメムシ類が15%であった。白未熟粒率がほぼ10%以上になると、玄米検査等級は2等以下に等級落ちした。

白未熟粒は、基肥窒素2kg/10a+出穂前10日に窒素追肥4kg/10aの方が、無追肥より有意に下がった(第2表)。無追肥の方が着粒位置別の玄米千粒重の変動が大きかった。

第2表 窒素肥培管理と着粒位置による
白未熟粒率の多少と玄米千粒重の変動.

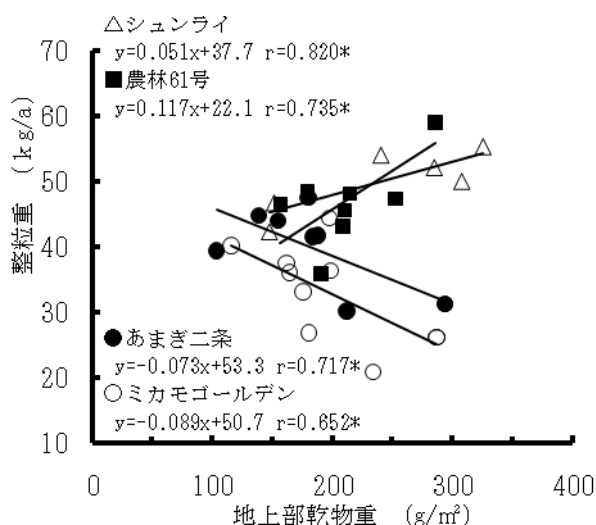
	窒素肥培管理 基肥—追肥 (kg/10a)	白未熟 粒率(%)	玄米千粒重 (g)								
			1次枝梗						2次枝梗		
			1番	2番	3番	4番	5番	6番	1番	2番	3番
玄米	2-4	6.4	21.3	22.5	23.1**	22.8*	22.1	21.1	20.6	20.6	19.6**
千粒重(g)	4-0	9.1*	21.2	22.0*	22.1**	22.3**	21.6	21.3	20.5*	19.8**	18.8**
変動	2-4	-	1.2	4.5	3.1	2.0	1.6	2.6	2.7	4.6	9.2
係数 (%)	4-0	-	2.5	4.3	3.7	3.3	2.8	4.5	3.7	5.9	7.8

白未熟粒率は全玄米の平均値. 株当たり全粒数は窒素肥培管理2-4が733粒, 4-0が700粒で有意差は無かった. **, *は1次枝梗1番粒の玄米千粒重に比べて1%, 5%水準で有意差があることを示す(t検定).

第3表 茎立期の地上部乾物重, 莖数, 葉色, 地上部乾物重
×葉色と収量構成要素, 生育量との相関係数.

茎立期の 農業形質	収量構成要素				生育量	
	穂数	全粒数	整粒重	整粒歩合	穂長	倒伏程度
あまぎ二条						
地上部乾物重	0.857**	0.892**	-0.717*	-0.914**	0.974**	0.888**
莖数	0.433	0.298	-0.149	-0.510	0.671*	0.497
葉色	0.273	0.298	0.382	-0.271	0.810**	0.446
地上部乾物重×葉色	0.768**	0.886**	-0.718*	-0.916**	0.988**	0.790**
ミカモゴールド						
地上部乾物重	0.849**	0.716*	-0.852**	-0.882**	0.399	0.802**
莖数	0.768**	0.600	-0.317	-0.626	0.684*	0.659*
葉色	0.387	0.383	0.414	0.080	0.870**	0.370
地上部乾物重×葉色	0.928**	0.819**	-0.548	-0.850**	0.618*	0.889**
シュンライ						
地上部乾物重	0.797*	0.859**	0.820*	-0.638	0.884**	-
莖数	0.803**	0.527	0.488	-0.590	0.703*	-
葉色	0.582	0.054	0.387	0.082	0.585	-
地上部乾物重×葉色	0.859**	0.865**	0.910*	-0.766*	0.893**	-
農林61号						
地上部乾物重	0.870**	0.779*	0.735*	-0.452	0.815**	0.482
莖数	0.337	0.031	0.279	0.117	0.389	0.084
葉色	0.170	0.337	0.670*	0.451	0.494	0.643*
地上部乾物重×葉色	0.885**	0.818**	0.854**	-0.223	0.931**	0.427

栃木県農業試験場(宇都宮市)の1998~2007年12年間の調査結果. あまぎ二条, ミカモゴールドの整粒重は粒厚2.5 mm以上, シュンライ, 農林61号の整粒重は粒厚2.0 mm以上の子実重を示す. -は倒伏程度が無で相関係数が認められない. **, *は1%, 5%水準で有意であることを示す.



第5図 茎立期の地上部乾物重と
整粒重との関係。

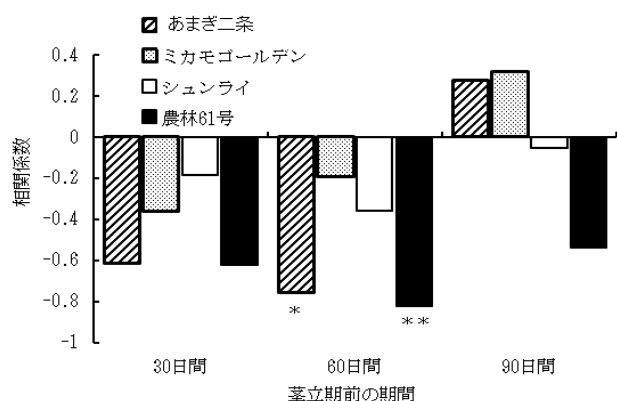
4 麦類の収量に及ぼす気象要因

(1) 材料と方法

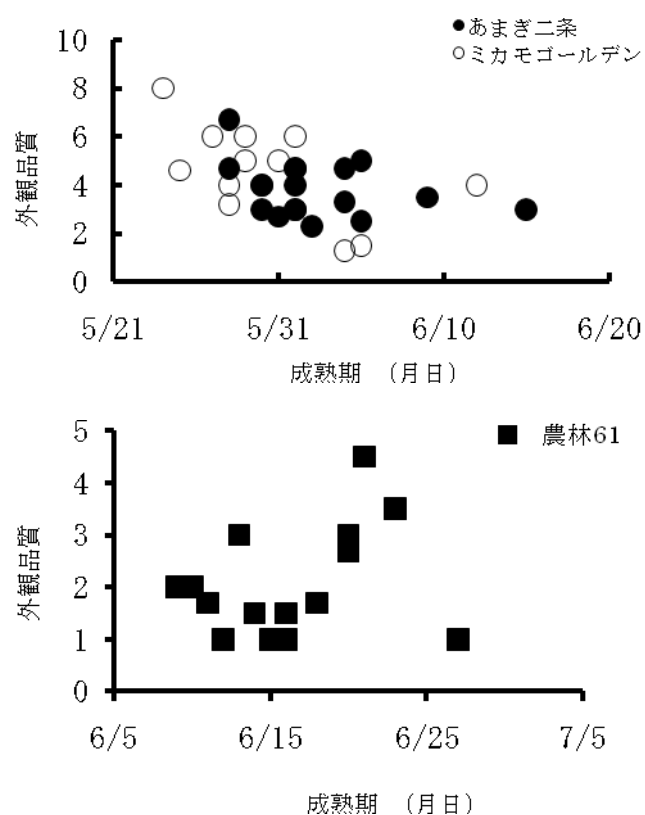
栃木県農業試験場(宇都宮市)の黒ボク土圃場で水稻の後作として栽培した 1996~2007 年産の麦類の生育試験結果を用いて, 茎立期の生育と収量構成要素との関係を解析した。播種期は10月31日~11月2日、播種量は200粒/m²、畦幅30cm、基肥窒素0.8kg/a(被覆尿素LP40を40%含む)。気温、降水量、日照時間は宇都宮地方気象台のデータを用いた。

(2) 結果

茎立期の地上部乾物重と整粒重との間には、3麦種とも有意な相関関係が認められた(第3表)。地上部乾物重が重いほど、3麦種の穂数、全粒数は多かった。しかし、麦種によって茎立期の地上部乾物重と整粒重との関係は違っていた(第5図)。ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドの整粒重は茎立期の地上部乾物重が軽いほど多収で、六条大麦シュンライ、小麦農林61号は地上部乾物重が重いほど多収であった。これは、茎立期の地上部乾物重が大きいいわゆる過繁茂により、倒伏が増し、倒伏程度が細麦の発生に及ぼす影響が違うためと考えられる。整粒重、千粒重を向上させるために、適正な茎立期の地上部乾物重は、ビール大麦あまぎ二条、ミカモゴールドは140~160g/m²、六条大麦シュンライが230~250g/m²、小麦農林61号は190~210g/m²と推察された。各麦種の安



第 6 図 茎立期前の日最低気温と茎立期の地上部乾物重との関係。



第 7 図 ビール大麦、小麦の成熟期別の外観品質

定多収のためには、稈長、穂数及び倒伏程度などの生育量を制御する必要があり、指標として茎立期の地上部乾物重を利用するのが効果的である。

ビール大麦あまぎ二条、小麦農林 61 号の茎立期の地上部乾物重は、茎立期前 60 日間の日最低気温が低いほど重かった(第 6 図)。ミカモゴールド、シュンライの地上部乾物重と日最低気温との関係も有意性は認められないが負の関係であった。栃木県の麦作においては地上部乾物重を介して整粒重、外観品質の阻 害 要 因 害要因になることが明らかとなった。

ミカモゴールドの外観品質は成熟期が遅いほど優れていた(第 7 図)。一方、農林 61 号の外観品質は出穂～成熟期の日数が短いほど優れていた。2 品種の成熟期と生育量との間に相関関係は認められないが、農林 61 号の成熟期と倒伏程度との間には有意な正の相関関係が認められた。栃木県においては、農林 61 号の成熟期は 6 月下旬と遅いほど、降雨に遭遇する確率が高く、成熟期に降雨が多いと倒伏程度も増し、外観品質は劣っていた。

冬季の日最低気温の低下によって、茎立期の地上部乾物重が増加し、生育量が過剰となり、ビール大麦においては整粒歩合の低下、六条大麦においては千粒重の低下、小麦においては稈長が伸びることにより倒伏程度が増加することが明らかとなった。高品質麦の安定生産のためには、麦踏み、播種時期、播種量、施肥量などによる生育量の制御が必要と考える。また、気象変動に対応するためには、生育診断に加え、麦種、品種の組合せによる危険分散の効果が期待される。

埼玉県の麦長期栽培試験における気象条件と収量の関係

箕田豊尚(埼玉県農林総合研究センター)

1. はじめに

埼玉県は麦類、特にコムギの主要な生産県であるが、近年「農林 61 号」をはじめ、麦の収量品質が不安定になっており、コムギでは 1996 年をピークに収量は右肩下がりになっている。そのため、実需者、生産者から改善方策を強く求められている。大きな原因の一つと考えられる気象条件について、今後の麦作指導上の指針を得るために、当所の過去の累年試験のデータを解析した結果を示す。

2. 埼玉県の畑圃場における麦類の長期栽培試験における気象条件と収量の関係

(1) 方法

試験は 1951 年 11 月～1996 年 6 月の 45 年間にわたって、当所水田農業研究所の畑圃場において行われた。圃場は 10a で、45 年間同一であった。夏作はなく、圃場を半分に分け、オオムギとコムギで 1 年ごとにローテーションした。

品種はコムギ「農林 61 号」及びオオムギ「関取埼 1 号」である。播種は 11 月 1 日を播種基準日として、おおよそ前後 3 日以内に行った。

施肥は、麦わら堆肥を 75 kg/a, N を 0.56 kg/a, P_2O_5 を 0.60 kg/a, K_2O を 0.45 kg/a 施用した。追肥として、2 月下旬～3 月中旬に、硫酸を N で 0.19 kg/a 施用した。

播種は、60 cm 条間で、溝の上に播種板を用いて幅 12 cm, 3 条, 播種間隔 4.2 cm の千鳥穴をあけ、1 粒点播で行い、覆土した。播種量は 10,800 粒/a である。

生育期の管理として除草、中耕を行った。除草は人力で生育期に 3 回行っていたが、除草剤が普及してからは、それぞれの時代で有効とされた除草剤を用い播種後土壌処理を行った。中耕は生育期に 2～4 回行った。土入れ、踏圧は行っていない。

試験は 1 品種 1 区制で行った。1 区は 84 m²～120 m²で、それを 4 ブロックに分割して収穫し、収量及び千粒重を計測した。

気温、降水量、日照時間は熊谷地方気象台のデータ（気象庁 1951～1996, 熊谷地方気象台 1951～1960）を用いた。気温、降水量、日照時間は月ごとのデータを用いた。ただし、出穂期および成熟期の月は、日ごとのデータを使用し、播種期は 11 月 1 日として、出穂期までの平均気温及び降水量を算出した。出穂期から成熟期までの平均気温および降水量は、出穂期の翌日から成熟期までのデータを平均、あるいは積算して求めた。

(2) 結果

(a) 平均気温と収量の関係 ばらつきが大きいものの、図 1 のように播種期から成熟期までの平均気温と収量は有意な負の相関関係にあった。出穂期を境に、生育期を播種期から出穂期と出穂期から成熟期に分けて調べたところ、播種期から出穂期までの平均気温と収量は有意な負の相関関係があった(図 2)。一方、出穂期から成熟期までの平均気温と収量には有意な相関はなかった(図 3)。

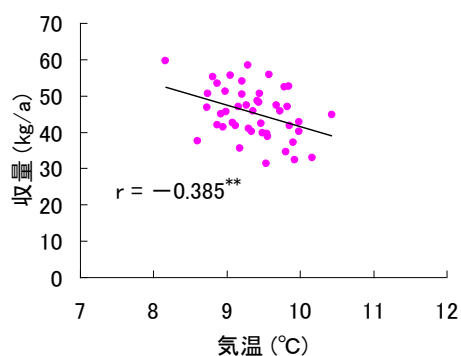


図 1 播種期から成熟期までの平均気温と収量の関係

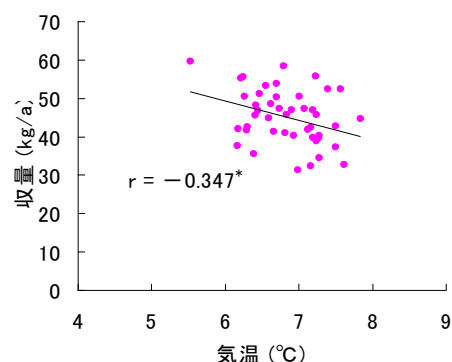


図 2 播種期から出穂期までの平均気温と収量の関係

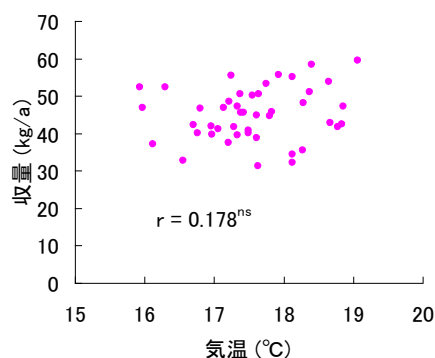


図 3 出穂期から成熟期までの平均気温と収量の関係

(b) 降水量と収量の関係 播種期から成熟期までの降水量と収量は有意な相関はなかった(図 4). 出穂期を境に, 生育期を播種期から出穂期と出穂期から成熟期に分けて調べたところ, 播種期から出穂期までの降水量と収量は有意な相関はなかった(図 5). 一方, 出穂期から成熟期までの降水量と収量には有意な負の相関があった(図 6).

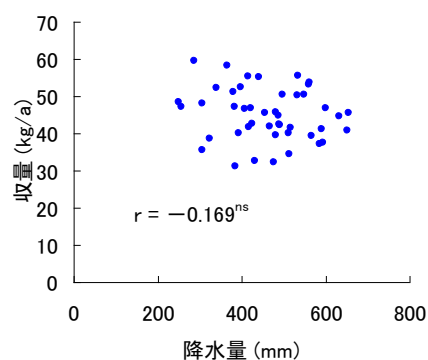


図 4 播種期から成熟期までの降水量と収量の関係

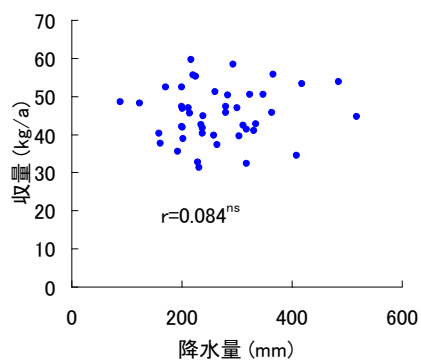


図 5 播種期から出穂期までの降水量と収量の関係

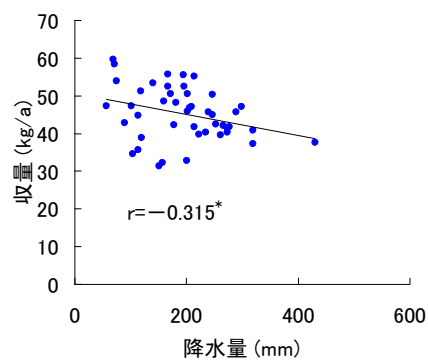


図 6 出穂期から成熟期までの降水量と収量の関係

(c) 日照時間と収量の関係 播種期から成熟期までの日照時間と収量は有意な相関はなかった(図 7). 出穂期を境に, 生育期を播種期から出穂期と出穂期から成熟期に分けて調べたところ, 播種期から出穂期までの日照時間と収量は有意な相関はなかった(図 8). 出穂期から成熟期までの日照時間と収量は有意な相関はなかった(図 9).

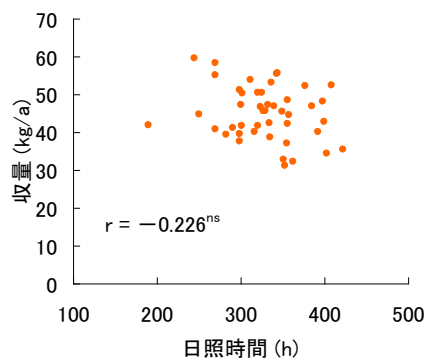


図 7 播種期から成熟期までの日照時間と収量の関係

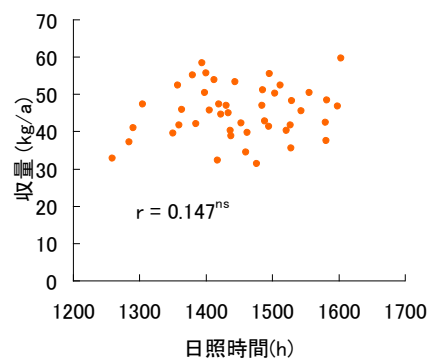


図 8 播種期から出穂期までの日照時間と収量の関係

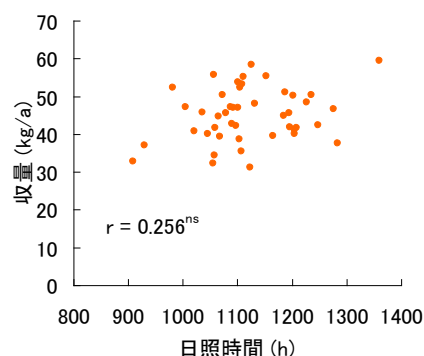


図 9 出穂期から成熟期までの日照時間と収量の関係 (図 1~7 は箕田 (2010) 日作紀から引用)

(3) まとめ

埼玉県の水田圃場における栽培条件下では, コムギ「農林 61 号」は, 播種から出穂までの平均気温が上がるほど減収する傾向にあること及び出穂期以降の降水量が増加することにより減収する傾向にあることが明らかになった. 六条オオムギ「関取埼 1 号」については, 11 月~5 月の平均気温と収量には負の相関が認められ(データ略), コムギと同様に平均気温が上がるほど減収する傾向にあることが明らかとなった.

3. 埼玉県の長期試験圃場における水稲後作オオムギの収量に対する気象条件の影響

(1) 方法 試験は 1907 年から 2004 年の 97 年間にわたって, 当所水田農業研究所の水田圃場において行われた. 圃場は 16.5 m², 14.9 m²で, 水稲の後作として概ね 11 月上旬に播種している. 品種は, 試験開始時は「虎の尾」, 1930 年からは「関取埼 1 号」を用いた. 試験区構成は, 無施肥区と水稲標準施肥区(以下水稲施肥区)で 1 区制. 施肥は水稲作時に行い, 麦作時には無施肥とした. 水稲施肥区の施肥量は, 1920 年までは a 当たり麦藁堆肥 112 kg, 大豆粕 3.4 kg, 人糞尿 23 kg, 過リン酸石灰 1.7 kg, 1921 年以降は麦藁堆肥 112 kg, 大豆粕 4.5 kg, 魚粕 1.9 kg, 硫安 0.7 kg, 過リン酸石灰 3 kg, 藁灰 4.5 kg である. 気温, 降水量, 日照時間については熊谷地方気象台の月別の観測値を用いた.

(2) 結果

オオムギの収量は、無施肥区、水稻施肥区とも年次による変動は大きいですが、特に 1980 年前後急激に増加した（図 10）。この頃の収量の変化の原因は、水稻後作のための灌漑水の富栄養化などが考えられるがよくわからない。

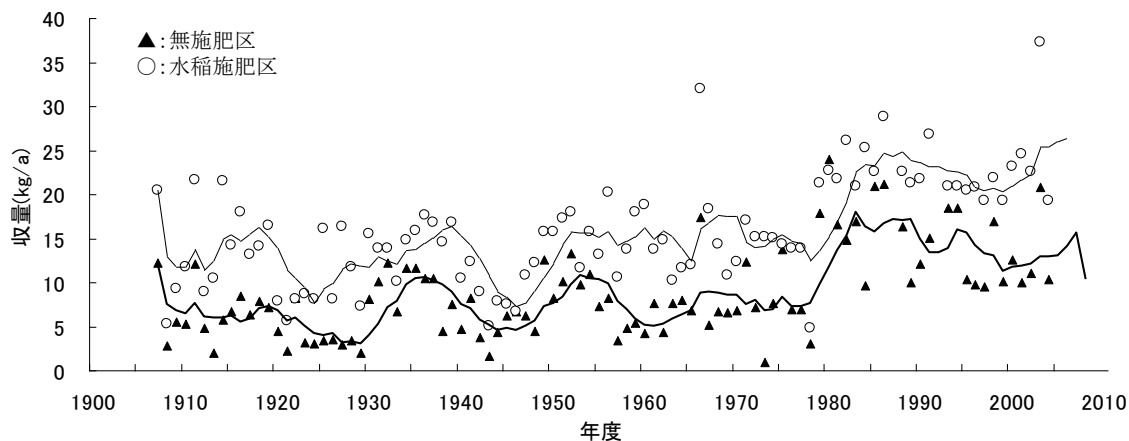


図 10 水稻後作オオムギの収量の経年変化(実線は 5 年間の移動平均を示す)

収量と 12 月～5 月の平均気温の相関関係を調べたところ、1907～2004 年では、無施肥区、水稻施肥区とも収量と平均気温には有意な正の相関があり(図 11, 12)、気温の上昇とともに収量が増加していることを示している。ただし、収量が急激に増加した 1980 年以降では、無施肥区、水稻施肥区とも、収量と平均気温が負の相関に転じており、1980 年以降の栽培条件下では、気温が高くなると収量が減少することを示唆している。

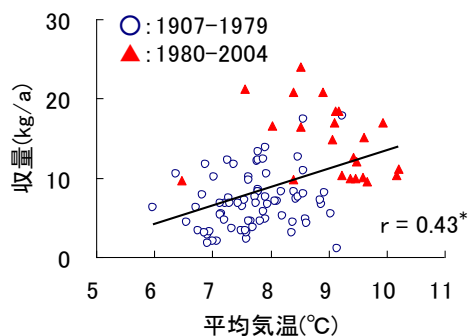


図 11 無施肥区の収量と平均気温の関係

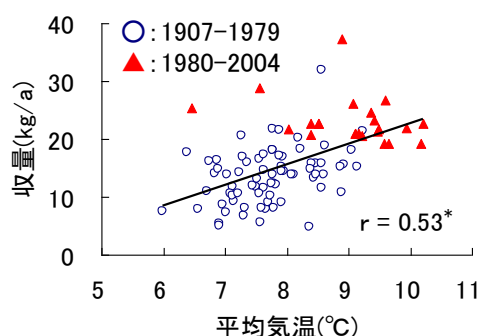


図 12 水稻施肥区の収量と平均気温の関係

4. 最後に

埼玉県の 2 つの長期にわたるほぼ同一栽培条件下における試験での、ムギの収量と気象の関係について紹介したが、まだまだ解析は不十分である。とくに畑圃場における麦類の長期栽培試験については、生育経過のデータや収量構成要素のデータを含めた解析を進めていきたい。また、各地方試験場には、主要な作物における累年の生育データ(気象感応試験や発育相)が多かれ少なかれ存在する。それらのデータの集積や解析が進み、作物に対する気象の影響が明らかになることを期待する。

落葉果樹の休眠と開花の制御による気候温暖化に対応した果樹生産を目指して

本條 均（国立大学法人・宇都宮大学農学部）

1. はじめに

今年の天候は寒暖差が非常に大きく、4月下旬の降雪や農作物の晩霜被害、北日本での低温・日照不足の後、一転して夏季には高温となり、統計開始以来の高温を記録し、9月以降も残暑が続いた。農産物にも高温による成熟・収穫期の遅れや品質低下等の多大な影響が報告されている。わが国は20世紀に全体として平均気温が約1℃上昇したが、東京では100年間に年平均気温が2.9℃上昇し、札幌から福岡に至る他の大都市平均でも2.5℃上昇した。東京では、20世紀初頭には冬日（日最低気温が0℃以下）が60日以上あったが、1990年代には3日ほどにまで暖かくなってしまった。さらに21世紀中には地球の平均気温の1.1-6.4℃上昇するとされ、夏(8月)と冬(1月)を比較すると、冬の温度上昇幅が非常に大きく、かつ都市化が進むほど温暖化の影響が大きく、特に冬の夜温が高くなると予測され、秋冬季に低温遭遇が必要な落葉果樹に深刻な影響が懸念される。

西南暖地のニホンナシ施設栽培において、既に低温不足に起因する仮称「眠り症」と呼ばれる発芽・開花等の生育障害が発生し、その解決が強く望まれている（藤丸 2004, 松田 2004）。このまま IPCC 第4次報告が不可避とした平均気温2℃の上昇に近づくと、西南暖地から関東南部にかけて、露地でもニホンナシでは発芽・開花障害が頻発するようになり、経済栽培の存立の危機となる（本條 2007）。

そのため、2℃の気候温暖化時に想定される300-400時間の低温不足下でも、温暖化前と同様な果実生産を農家が現有の施設や機材等でほぼ対応可能な樹体管理技術を創出するため、樹体や根圏を取り巻く微気象改変による芽の生長停止・休眠導入過程の促進、太陽エネルギーを活用する低温不足下での高温処理による自発休眠打破効果を組み合わせ、休眠期から発芽・開花・果実成長までの一連の過程での温度環境改変効果が樹体や果実に及ぼす影響を解析するとともに、その効果を補助する技術の開発により気候温暖化に対応した省資源・省エネルギー型の栽培管理技術の開発を目指して、ニホンナシを中心にリンゴ・カキについて、研究・開発を進めているので、その一部を紹介したい。

2. 休眠導入から覚醒時期の制御による生育障害の回避・軽減技術の開発

ニホンナシ「幸水」鉢植え樹を対象に2008年11月12日から被覆資材と移動式の細霧冷房ファン（エアクール、フルタ電機）を用い、気候温暖化を想定した試験条件の検討と温暖化による低温遭遇不足を補うための気化冷却処理による微気象改変効果と発芽・開花への影響を調査した。温暖化気候時を想定し、無加温ガラス室内にて地上部細霧処理区と根圏部細霧処理区に分けて、気化冷却処理を行い、7.2℃以下低温遭遇600時間超と900時間超を目安に晴天時昼間のみ処理を実施した。細霧処理は白色反射マルチ資材（Dupont 社製、Tyvek）による被覆処理と組み合わせ、ガラス室内には対照区を設け、露地には無処理区を設置した。処理後はそれ以上低温に遭遇しないよう環境調節ガラス室（22℃設定）へ移動し、その後毎日ニホンナシの混合芽の発育段階基準表に基づいて、生育調査を実施した。1月14日に露地では7.2℃以下低温遭遇1011時間に達したが、ガラス室内では、対照区同637時間、地上部細霧処理区は同650時間、地下部細霧処理区は同612時間に到達し、想定した気候温暖化による低温不足条件、即ち宇都宮の平年値+3℃の条件を再現できた。細霧冷房を利用した気化冷却処理による昼間の気温の低減効果は12月下旬の晴天時で $\Delta 2-3^{\circ}\text{C}$ であるが、反射資材被覆との組み合わせにより、無処理の対照区に比較して最大で $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ 程度の芽温の顕著な低減効果が観察された（図1）。

ここで、+3℃の気候温暖化時を想定した気候条件を再現できたので、その温暖化条件下での被覆資材+気化冷却処理の発芽・開花への影響についてみると（図2）、地上部細霧処理区では、発芽率は80%と根圏処理や対照区に比べ明らかに高く、続いて根圏処理、対照区と続いた。最終的な開花率においては、十分に低温遭遇時間を充足した露地区では96%以上を示したが、ガラス室内の3処理区は50%前後であり、対照区に比べ根圏部細霧処理区がやや高いものの、地上部細霧処理の効果はわずか

に劣った。

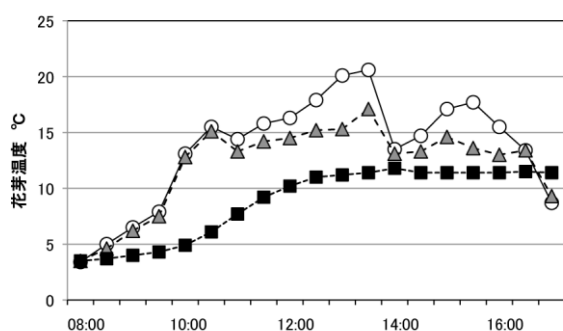


図1 反射資材被覆と細霧処理の有無が
芽温に及ぼす影響 (2009 年 1 月晴天日)
○ : 対照区 (無処理), ■ : 地上部細霧処理,
▲ : 根圏部細霧処理

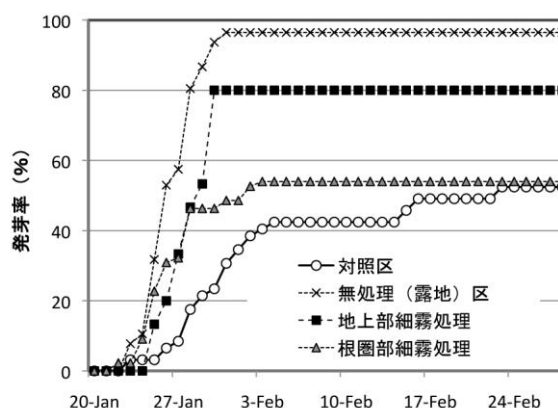


図2 ニホンナシ「幸水」の発芽に及ぼす
細霧処理の影響 (2009 年)

落葉果樹が自発休眠から脱して成長を再開するためには、一定期間低温に遭遇することが必要とされ、低温要求量が満たされなければ萌芽・開花の遅延や不揃いを招き、結局結実や果実の成長に影響がでる (Saure 1985)。そのため、冬季温暖な地帯で落葉果樹を栽培すると自発休眠の覚醒が正常に終了せず、栽培上の阻害要因となっている (本條ら 2006), Klinac・Geddes 1995, Nakasu ら 1995, Petri ら 2002, White 2002)。また、芽の生理過程に対する低温の連続性の不足や高温の影響で、冬季が温暖なほど自発休眠の覚醒に必要とされる低温遭遇時間が長くなるともいわれ (西元 1991), わが国の西南暖地では一層の影響が懸念される。さらに施設栽培では自発休眠が終了したかどうか加温開始時期の決定、即ち開花や収穫期に関係し、経営戦略上非常に重要となる (本條 2007)。

本條 (2007) によれば、ニホンナシ「幸水」の自発休眠覚醒時期について、Sugiura・Honjo (1997) の自発休眠覚醒時期の予測モデルを用い、日最高・最低気温の平年値 (気象庁観測平年値, 統計期間 1961-1990) に対して、それぞれ+1~+10℃まで、1℃ずつ上昇させた場合の自発休眠の覚醒に及ぼす影響を解析したところ、宇都宮では、現在 12 月中下旬には自発休眠が覚醒しているが、+1℃上昇毎に 5~6 日遅れるようになり、+3℃で約 3 週間、+5℃上昇で 5 週間の遅延が予想される。

本研究では、無加温ガラス室を利活用することにより、IPCC が不可避とした+2℃の条件以上の気候温暖化による低温不足条件、即ち宇都宮の平年値+3℃の条件を再現でき、同一時期の露地条件よりも 7.2℃以下低温遭遇時間で約 400 時間の不足条件で比較検討できたことは非常に有意義であった。さらに本研究において、ガラス室内 3 区の 7.2℃以下低温遭遇時間は 612~650 時間と自発休眠覚醒のための低温遭遇時間だけで比較すると、ほぼ同程度であるにも関わらず、地上部細霧処理区で発芽率が 80%を超えたことから、昼間の温度低減による効果が有効であったと判断した。この理由としては、杉浦ら (2003) がニホンナシ「幸水」の自発休眠覚醒には 0~12℃の範囲では、0~6℃が最も有効性が高く、9℃では有効性がやや劣り、12℃は有効性が小さいこと、さらに-6℃以下は効果がないこと、21℃あるいは 24℃では自発休眠覚醒のための低温積算の一部を打ち消して、自発休眠ステージを逆進させる効果を確認していることが大きく関与していると考えられる。即ち、図 1 に示したように、対照区では晴天時昼間に 20℃以上になる時間帯が存在したことから、休眠覚醒へと進行していた自発休眠ステージが打ち消されて逆進していた可能性があるのに対して、細霧処理区ではそのような打ち消し効果が発現しにくい温度条件に維持されていたと考えられ、それ故自発休眠覚醒には 100 時間程度の不足条件にも関わらず、地上部細霧処理区で発芽率が 80%と顕著な差異が現れたものと考えた。

開花率においては、対照区に比べ根圏処理区がやや高いが、地上部の処理の効果はやや劣った。ただ、ガラス室内で低温積算 1000 時間超まで処理すると、地上部細霧処理区は、芽の発育停止が観察さ

れたことから、発芽後の芽の濡れ時間の長期化が影響したものと考えられ、細霧の噴霧時間の断続運転等の制御法の改良を図るなど、さらに検討する必要があると考えられた。

3. 高温ストレスを利用した樹体制御による生産安定化技術の開発

2008 年には、2℃の温暖化時に想定される 300-400 時間程度の低温遭遇時間不足条件下に対応した温暖化影響緩和技術の開発に資するため、一時的な高温処理による効果を検討した。「豊水」樹を対象に露地での 7.2℃以下低温遭遇時間が、500、600、700 と 800 時間を超えた時点で、32-33℃を連続 30 時間与える連続処理区と日夜 32-3/22℃のサイクルで 3 回、通算 30 時間の断続処理区を設定した。

2009 年度も同様に、2℃の気候温暖化時に想定した 300-400 時間程度の低温遭遇不足下での一時的な高温処理による効果を検討した。前年度の成果では「豊水」の開花制御効果は低温遭遇 700 時間が 80%以上と顕著であったが、同 600 時間でも 70%程度の開花が得られたので、さらに低温不足下での制御効果を検討するために、ニホンナシ「豊水」鉢植え樹を対象に試験を実施した。露地での 7.2℃以下低温遭遇時間が 400 と 600 時間の 2 段階、コイトロンを利用して 32-33℃を連続 30 時間与える連続処理区と既存の栽培施設の利活用を想定して、自然光のガラス室内で 32℃以上に遭遇した時間が連続処理と同程度になるように 5 日間処理する断続処理区を設定した。処理後は前項と同様に 22℃の環境調節ガラス室に移動し、生育調査を実施した。

2008 年の結果では、露地での 7.2℃以下低温遭遇 500 時間を超えた日 (12 月 18 日)、同 600 時間 (12 月 24 日)、同 700 時間 (12 月 31 日)、同 800 時間 (1 月 5 日) から、連続あるいは断続の高温処理を行った。自発休眠覚醒に必要な低温要求にやや不足する低温遭遇 600 と 700 時間後に行った高温処理による「豊水」の開花に及ぼす影響をみると、低温遭遇 600 時間よりは、同 700 時間のほうが連続、断続処理ともに開花率向上効果が顕著であった (図 3)。

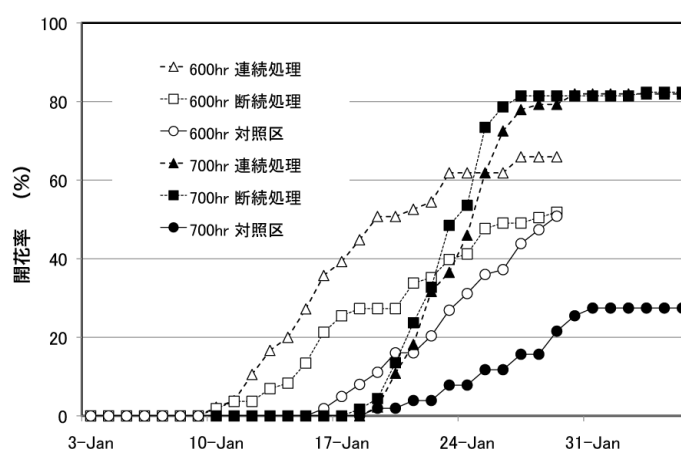


図3 ニホンナシ「豊水」の開花に及ぼす高温処理の影響 (2008 年)
露地での 7.2℃以下低温遭遇 600 または 700 時間超時に処理

2009 年には、露地での 7.2℃以下低温遭遇 403 時間 (設定 400 時間) 経過時 (12 月 11 日)、と同 612 時間 (同 600 時間) 経過時 (12 月 25 日) に連続 (コイトロン内で 30 時間区) あるいは断続 (ガラス室区) の高温処理 (32℃, 30 時間程度) を行い、処理後はそれ以上低温に遭遇しないように 22℃の自然光ガラス室に移動し、生育調査を実施した。低温遭遇 400 時間経過時の高温断続処理 (ガラス室区) の場合は、発芽・開花率ともに無処理区 (20-30%) のほぼ倍の 60%程度を示した。連続処理区 (コイトロン区) での発芽・開花率はやや劣るものの、露地での 7.2℃以下 400 時間経過時では高温ストレスの効果が明らかに認められた。しかし、600 時間経過時処理では、断続処理 (ガラス室区) は 80%以上の発芽・開花と有効であるが、対照区の発芽・開花率も高く、連続処理の効果は顕著ではなかった (図 4, 5)。

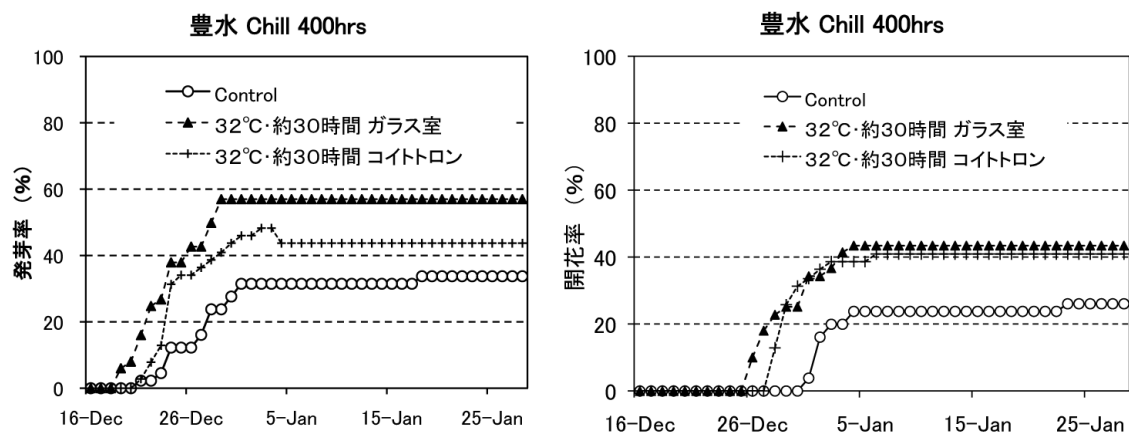


図 4 ニホンナシ「豊水」の発芽・開花に及ぼす高温処理の影響（2009 年）

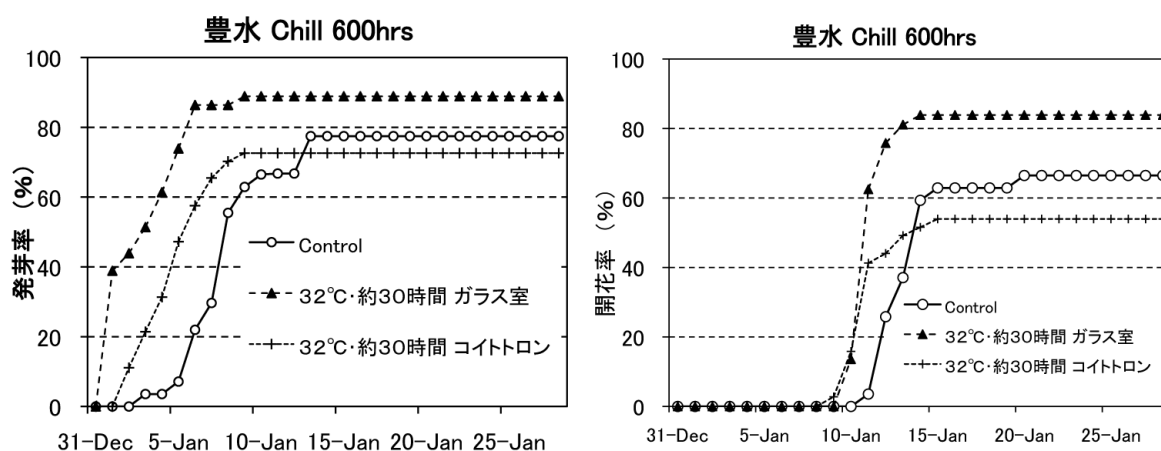


図 5 ニホンナシ「豊水」の発芽・開花に及ぼす高温処理の影響（2009 年）

図 4, 5 では、露地での 7.2℃以下低温遭遇 400 あるいは 600 時間超時に連続（コイトロン）あるいは断続（ガラス室）処理

気候が温暖にすぎるとニホンナシ栽培が深刻な影響を受けている地帯の例として、ブラジル南部での最大の栽培阻害要因である花芽異常がある（本條ら 2006, Nakasu ら 1995, Petri ら 2002）。現地では 7.2℃以下の低温が 300～600 時間と正常な休眠覚醒にはかなり不足しており、農家は Dormex（シアナミドを 49%含有）等の薬剤散布によりかろうじて発芽・開花を促し、花芽の確保に努めている状況である。しかし有効な散布時期や濃度の選定は試行錯誤の状態にある（本條ら 2006, 2007）。このような低温不足の状態での人為的な休眠打破には多くの方法が提案され、気化冷却による低温付加や高温処理、窒素施用と灌水処理、化学物質処理などがある（Erez 1995, Erez・Couvillon 1983, Saure 1985）。化学物質としては、鉍油、DNOC、硝酸カリ、ジベレリンやサイトカイニン等多くのものがある。ただ、現在ニホンナシに対して休眠打破作用を持つ薬剤として農薬登録されているのはシアナミド液剤だけである。しかし、シアナミド系薬剤も万能ではなく、新たな休眠打破効果を持つものとして過酸化水素の効果が報告されている（Kuroda ら 2005）。

筆者らは、反射資材被覆と気化冷却処理の組み合わせによる環境負荷が少なく、農家が現有の栽培施設などの利活用で実施可能な休眠の制御技術について検討を続けている（Honjo ら 2002, 2005）が、本項で検討した高温ストレスの利活用技術もその延長線上にある。そのため 32～3℃という栽培施設下で実現可能な温度帯を利用している。田村ら（1993）は、ニホンナシ「二十世紀」を 45℃の高温下で 4 時間処理することにより、自発休眠の進行を促す効果が得られたことを報告している。また、ブドウ休眠枝でも 45℃の温湯浸漬 4 時間処理で効果があったという報告（堀内 1977）もあるが、我々

はこのような高温は実用的でなく、また処理時間が長くなると樹体への高温障害の発生も予想されるので、農家への普及には未だ問題があると考え、できるだけ低い温度帯の利用を考えているからである。例えば、露地での低温遭遇で 650 時間後に 32-33℃の高温ストレスを与えると、「豊水」では 1 月 10 日までに満開となり、「幸水」は 3 日程度の遅れで推移し、果実も着生し、70%以上の開花が認められ、正常に休眠打破されたと判定した（本條 2009）。高温処理により開花した「幸水」樹は、先に開花した「豊水」樹の花粉により、正常に結実・生育した。ガラス温室内での管理のために糖度は 15～16°であったが、果実肥大がやや不良であった。

ここで注目すべき点として、図 4 に示したように露地での 7.2℃以下低温遭遇 400 時間経過時の高温断続処理区が発芽・開花率ともに 60%程度と無処理区（20-30%）の倍となり、高温ストレスによる自発休眠打破及び開花促進効果が明らかに認められたことである。さらに、600 時間経過時処理では、断続処理は 80%以上の発芽・開花と有効であった（図 5）。ここで、対照区の発芽・開花率も高いようであるが、高温処理区に比べて、対照区では発芽時の生育障害や異常開花（小花だけで花そう葉が無い等）が多いこと、高温処理区では花そう葉を持つ正常開花が多く、授粉により結実したことである。以上の結果から、高温ストレス処理、特に断続処理の有効性・実用性が実証されたものと考えられ、2℃の気候温暖化時に想定される 300～400 時間の低温不足下でも適応可能な基礎技術の一部は開発できたものと考えられた。

4. まとめ

気候温暖化を想定した条件下で反射被覆資材と細霧冷房を利用した気化冷却による微気象改良による昼間気温の低減効果により、夜間に獲得した低温による自発休眠打破効果を昼間の不適な高温が打ち消す効果を完全ではないが無効にすることにより、発芽率が顕著に向上できた。ただ、芽の濡れ時間の長期化による発芽後の生育への悪影響が懸念されたため、細霧装置の運転時間を連続ではなく断続化するなど、有効な気化冷却法を検討する必要がある。

また、想定した低温遭遇不足下での 32℃程度の短期高温処理により、「豊水」と「幸水」で顕著な発芽・開花率と正常花率の向上効果が認められ、結実も確認できた。また、農家の栽培施設の活用を想定した、太陽熱利用の晴天日の断続的な高温ストレス処理も非常に有効であること実証できた。IPCC 第 4 次報告が不可避とした平均気温 2℃の温暖化時に想定される 300～400 時間の低温不足に適応するために、太陽熱を利用した短時間の高温ストレスと利用可能な薬剤（例えば、シアナミド剤等）を組み合わせるなどの効果的な実用的生産安定技術の開発を目指すとともに、同時に開発した気化熱＋被覆資材利用による微気象改良との統合化による普及場面を想定した農家で導入可能な気候温暖化に適応した樹体制御法の提案と実用化のために生産現場での現地試験の検討を行いたい。

5. 引用文献

- 1) Erez, A. (1995). Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Hort.* 395:81-95.
- 2) Erez, A. and G. A. Couvillon (1983). Evaporative cooling to improve rest breaking of nectarine buds by counteracting high daytime temperatures. *HortScience*. 18: 480-481.
- 3) 藤丸 治 (2004).熊本県における加温ハウスナシの「眠り症」。(独)果樹研究所編.平成 15 年度果樹農業生産構造に関する調査報告書.中央果実基金資料. 189:62-65.
- 4) Honjo, H. Y. Kobayashi, M. Watanabe, R. Fukui and T. Sugiura (2002). A new approach to controlling the flowering date for Japanese pear using reflective film technique. *Acta Hort.* 587 : 389-395.
- 5) Honjo, H., R. Fukui and T. Sugiura (2005). Dormancy and flowering control for Japanese pear by micrometeorological modification. *J. Agric. Meteorol.* 60: 805-808.
- 6) 本條 均・杉浦俊彦・朝倉利員・F. G. Herter・G. B. Leite・J. L. Petri (2006). 冬季の温暖化が落葉果樹栽培に及ぼす影響。(第 6 報)ブラジル南部におけるニホンナシの開花異常現象.日本農業

気象学会 2006 年春講要. 78.

- 7) 本條 均 (2007). 気候温暖化が落葉果樹の休眠, 開花現象に及ぼす影響. 園学雑. 6:1-5.
- 8) 本條 均 (2009). ナシの休眠・開花への影響. 最新農業技術「果樹」Vol.2. 農文協. 259-264.
- 9) 堀内昭作 (1977). ブドウの芽の休眠現象とその制御に関する研究. 大阪府立大学学位論文.
- 10) Klinac, D. J. and B. Geddes (1995). Incidence and severity oh the floral bud disorder “budjump”, on nashi(*Pyrus serotina*) grown in the Waikato region of New Zealand. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. 23:185-190.
- 11) Kuroda, H., T. Sugiura and H. Sugiura (2005). Effect of hydrogen peroxide on breaking endodormancy in flower buds of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74: 255-257.
- 12) 松田和也 (2004). 福岡県におけるナシの発芽・開花不良障害 (仮称: 眠り病). (独) 果樹研究所編. 平成 15 年度果樹農業生産構造に関する調査報告書. 中央果実基金資料. 189:59-61.
- 13) Nakasu, B. H., F. G. Herter, D. L. Leite and M. C. B. Raseira (1995). Pear flower bud abortion in southern Brazil. *Acta Hort.* 395: 185-192.
- 14) 西元直行 (1991). 落葉果樹の休眠覚醒と低温要求量. 農業技術大系果樹編. 追録第 6 号. 施設栽培 50 の 4. 農文協. 東京.
- 15) Petri, J. L., G. B. Leite and Y. Yasunobu (2002). Studies on the causes of floral bud abortion of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) in southern Brazil. *Acta. Hort.* 587:375-380.
- 16) Saure, M. C. (1985). Dormancy release in deciduous fruit trees. *Hort. Reviews.* 7: 239-300.
- 17) Sugiura, T. and H. Honjo (1997). A dynamic model for predicting the flowering date developed used an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. *J. Agric. Meteorol.* 52: 897-900.
- 18) 杉浦俊彦・伊藤大雄・黒田治之・本條 均 (2003). ニホンナシ混合芽の自発休眠覚醒を抑制する温度条件について. 農業気象. 59: 43-49.
- 19) 田村文男・田辺賢二・伴野 潔・池田隆政 (1993). ニホンナシ “二十世紀” の芽の休眠打破に及ぼす高温処理の影響. 園学雑. 62:41-47.
- 20) White, A. (2002). Asian pear production and research trends in New Zealand and Australia. *Acta Hort.* 587: 107-111.