

Acta Botanica Hungarica 43 (3–4), pp. 259–273, 2001

LES COMPONENTES DE LA BALANCE HYDRIQUE DES DEUX TYPE DES MAÏS DIFFÉRENTS DANS LES DEUX PÉRIODES DE VÉGÉTATION SUCCESSIVES

A. ANDA et É. K. DECSI

*Université de Veszprém, Faculté Georgikon des Sciences d'Agriculture
H-8361 Keszthely, Pf. 71, Hongrie; E-mail: anda-a@georgikon.hu*

(Received 1 December, 2000)

Differences in water balance components of two maize hybrids were investigated at the Agrometeorological Research Station of Keszthely, during the 1997–98 growing seasons. The length of the vegetative period of the two maize varieties was the same, only their water necessities differed significantly. Daily sums of evapotranspiration were measured in lysimeter growing chambers. Alteration in water loss of the two maize varieties was also characterised by daily mean stomatal resistances. Modification in the process of water exchange between the plant and its environment was determined by calculating the complex parameter of Crop Water Stress Index (CWSI). Surprisingly, at non limited watering level the water consumption of the two hybrids was almost the same. The stomatal resistance of the drought tolerant hybrid increased together with its plant temperature and CWSI, comparing to the parameters of other maize variety, that was bred for irrigated conditions. Decreased transpiration might increase the plant temperature and CWSI of drought tolerant hybrid. This relation can be successfully applied in the process of selecting plants for different watering levels.

Key words: crop water stress index, maize, stomatal resistance, water balance

INTRODUCTION ET LES LITTÉRATURES

Selon les observations de certains chercheurs, l'influence des variétés sur le rendement du maïs atteint à 49–56% (Frey 1971, Russel 1974, Duvick 1992). Cette influence de variété, estimée à 20% dans les années '50–60 en Hongrie, a été augmentée à 45% à la fin des années '80 (après Menyhért *et al.* 1988). Le rôle décisif des variétés dans le rendement augmentait avec le temps et pour aujourd'hui il est devenu le facteur le plus important déterminant de la production. Mais les capacités de production des variétés peuvent se réaliser avec une technologie de façon culturale convenable, où les approvisionnements en substances nutritives et en eau sont primordiaux. En ce qui concerne des actions de l'azote et de l'eau, elles sont pratiquement inséparables, ayant un rapport vraiment étroit entre elles. La me-

sure de l'influence d'azote et d'eau sur le rendement du maïs dépendant du génotype a été définie par Nagy (1996).

La Hongrie ne fait pas partie de la zone de l'irrigation, c'est à dire – il y a des années, quand il est inutile à irriguer des cultures exigeantes en eau. Concernant la planification des saisons de l'irrigation, on préfère les technologies épargnantes de l'eau. L'emploi de différences des températures de plante et d'air, gagnées par télédétection, nous offre une nouvelle méthode à déterminer le moment juste à reprendre l'irrigation. La nouveauté de cette méthode consiste en détection le déficit en eau avant les premières atteintes visibles du mal des plantes, et ainsi on a une méthode subtile dans l'avertissement à l'irrigation épargnante de l'eau en excluant totalement le danger d'un surdosage, provenant d'une précipitation éventuelle.

Compté à la base des différences des températures (de l'air et de la plante), l'indice du stress hydrique (ISH, en anglais : CWSI) est apte à déterminer le jour de l'irrigation. (Dans notre cas on suit la pratique suivante : $ISH = CWSI \times 10$.) Il y a deux catégories des ISH : – l'une qui applique la théorie de la régulation thermique de la feuille (Jackson *et al.* 1981, Jackson 1982), et – l'autre: des indices empiriques (Idso *et al.* 1981).

En ce qui concerne les indices du stress du maïs spécialement, on peut les étudier dans les publications Gardner *et al.* (1981) et Clawson et Blad (1982).

La littérature de l'irrigation du maïs est vraiment très large, ici – sans faire une liste totale – on ne mentionne que certaines ouvrages de Hatfield (1990), Sinclair *et al.* (1990), Howell *et al.* (1995, 1997, 1998), qui s'occupaient de ce thème en détail.

La méthode mentionnée avait été employée exclusivement pour le but de la sélection des plantes cultivées par Mtui *et al.* (1981). Notre objective était à examiner de certains indices concernantes de bilan hydrique (l'indice de stress hydrique et de la température des plantes) chez les deux maïs hybrides, appartenant aux même groupes de maturation et de productivité, mais différents concernant de leur demande d'eau.

L'objectif était l'observation des bilans hydriques d'eau des deux hybrides. C'était réalisé par l'aide de la résistance stomatique, de l'ISH et de l'évapotranspiration. Un autre objectif était l'observation des bilans hydrique d'eau des deux hybrides, qui ont de l'exigence d'eau différentes.

Chaque méthodes nouvelles – qui rendent possible une sélection productrice et rapide – sont importantes, en tenant compte des méthodes de sélection laborieuses et trop longues, pratiquées généralement jusqu'aujourd'hui.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

En 1997–98 à la Station de Recherche de l'Agrométéorologie de Keszthely (Hongrie) nous examinons l'évolution de l'ISH des deux hybrides du maïs, qui ont des différentes demandes d'eau. Nous avons eu fait attention à ce que les deux variétés appartenait au même groupe de maturation et de productivité, qu'ils aient les mêmes aspects et caractères, sauf la demande d'eau. Alors, nous avons choisi les variétés suivantes :

- la Norma 370 SC, hybride du maïs xérophytique et
- la MVK 333 SC, hybride sélectionnée du maïs pour les conditions irriguées. Ils sont généralement répandus en Hongrie. En cas optimal, pour tous les deux on sème 7 pieds par m².

Le choix des hybrides du maïs serait justifié par les mesures hebdomadaires de l'architecture des plantes, tels que l'indice de surface des feuilles (ISF, abréviation en anglais : LAI) et le rendement. Les ISF étaient déterminées à l'aide d'un appareil transportable de type LI 3000 à mesurer de la surface foliaire sur les mêmes 10 tiges modèles par parcelle expérimentale. Le 1^{er} tableau contient les marques des traitements de l'essai.

Notre essai avait quatre répétitions par chaque traitement et ses parcelles étaient ordonnées en blocs, grâce à la position fixe des cases lysimétriques.

Nos cases lysimétriques sont des containers de 4 m³, mis en plein air, remplis par le sol dominant aux environs. (Voir encore la publication de Anda (1993).) En connaissant des membres du bilan hydrique, l'évaporation a été chiffrée en somme journalière et ainsi on pouvait simplement compter l'évaporation cumulative.

Nous avons cultivé les deux hybrides en trois alimentations en eau:

- alimentation en eau "ad libitum";
- alimentation en eau par la pluviosité naturelle (sur les parcelles témoins);
- arrosage selon la demande d'eau des plantes, en suivant l'indice du stress hydrique (ISH). L'ISH, c'est à dire le CWSI, est élaboré théoriquement par Jackson (1982) et Jackson *et al.* (1981).

$$CWSI = 1 - \frac{ET}{PET} = \frac{\gamma \left(1 - \frac{r_c}{r_a} \right) - \gamma}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_{cp}}{r_a} \right)} \quad (1)$$

où:

ET et PET : l'évaporation effective et l'évaporation potentielle [$\text{g m}^{-2} \text{s}$],
 r_c et r_a : la résistance de la plante et la résistance de la couche de limite [s m^{-1}],

r_{cp} : la résistance de la plante en cas de l'évaporation potentielle [s m^{-1}]

γ : le coefficient psychrométrique [hPa K^{-1}],

Δ : la pente du rapport température – saturation hydrique de l'air [$\text{Pa } ^\circ\text{C}^{-1}$].

$$\frac{r_c}{r_a} = \frac{\frac{\gamma r_a Q^*}{\rho C_p} - (T_c - T_a)(\Delta + \gamma) - q^*(T_c) - q}{\gamma \left[(T_c - T_a) - \frac{r_a Q^*}{\rho C_p} \right]} \quad (2)$$

La proportion des résistances :

ρ : la densité de l'air [kg m^{-3}]

C_p : la chaleur spécifique sous la pression constante [J kg K^{-1}]

$T_c - T_a$: la différence de la température de la plante et d'air [K]

Q^* : la radiation nette des feuilles [W m^{-2}]

$q^*(T_c) - q$: la différence des états hygrométriques de l'air saturé et mesuré [hPa]

On peut déterminer le r_a : selon van Bavel et Ehler (1968) et Thom et Oliver (1977) par la relation suivante :

$$r_a = \frac{4,72 [\ln(z - d) / z_0]^2}{1 + 0,54 U} \quad (3)$$

U : la vitesse du vent [m s^{-1}]

z , z_0 et d : les coefficients, qui dépendent de l'architecture des plantes [m].

Concernant la solution de l'équation 1, Idso *et al.* (1981) ont trouvé graphiquement une simple résolution empirique, utilisée par nous même. Ainsi nous arrosions quand le CWSI > 0,2 (c. à d. : l'ISH > 2).

On mesurait des éléments météorologiques à la Station de recherches locale, par les méthodes standardes. Les températures des plantes ont été mesurées avec un thermomètre RAYNGER détectant le rayonnement infra-rouges, chez la position haute du soleil, en pleine radiation. L'angle du thermomètre au-dessous de l'horizon était 30° , tenant 1 m au-dessus des plantes, visant aux feuilles des plantes d'une distance à peu près un mètre – un mètre et demi. Par là, la surface mesurée des plantes pouvait at-

teindre à 1000 cm² environ. Le nombre des mesures répétées parallèlement étaient de 3 à 5.

La résistance stomatique a été mesurée à l'heure avec un poromètre du type DELTA T AP 4.

Si pendant la journée l'ISH avait dépassé une limite calculée d'avance, on irriguait au goutte à goutte 40 mm de l'eau chaque fois au soir, avec une intensité de 10 mm par heure.

En cas de toutes les trois alimentations, nous avons employé les mêmes doses du phosphore et du potassium (80 kg ha⁻¹ P₂O₅ et 120 kg ha⁻¹ K₂O) et deux différentes doses de l'azote : 0 et 100 kg ha⁻¹ en substance actif. En ce qui concerne la technique culturale, nous en avons suivis toutes les pratiques généralement appliquées aux environs de Keszthely.

LE RÉSULTAT

Le temps des deux périodes examinées de végétation

La température de la période de végétation en 1997 se montrait plus froide (-0,8 °C) que la moyenne de trente ans, celle de 1998 est revenue à la normale (Fig. 1).

Bien que les sommes de la précipitation des deux années analysées étaient pratiquement identiques, mais leurs répartitions saisonnières étaient différentes. Le juillet 1998 ayant une pluviosité proche du moyen, a été suivi par un août sec, avec une pluie à la fin du mois, c'est pour cela le début d'août le maïs a indiqué un manque d'eau, et il avait besoin des arrosages.

Ayant une pluviosité abondante en juin et juillet 1997, le sol en aurait pu stocker assez, même en août moins tempéré et les plantes montraient une alimentation suffisante en eau pendant tout les trois mois (été). La pluviosité de l'été de 1998 près de la moyenne est due aux grandes pluies de la fin d'août, qui n'avaient aucune importance pour la production des maïs hybrides qui mûriraient en septembre en générale. Mais un manque d'eau durable ne s'est pas formé en 1998, et on ne pouvait pas détecté des phénomènes de la sécheresse prévue par les climatologues au cours des années précédantes.

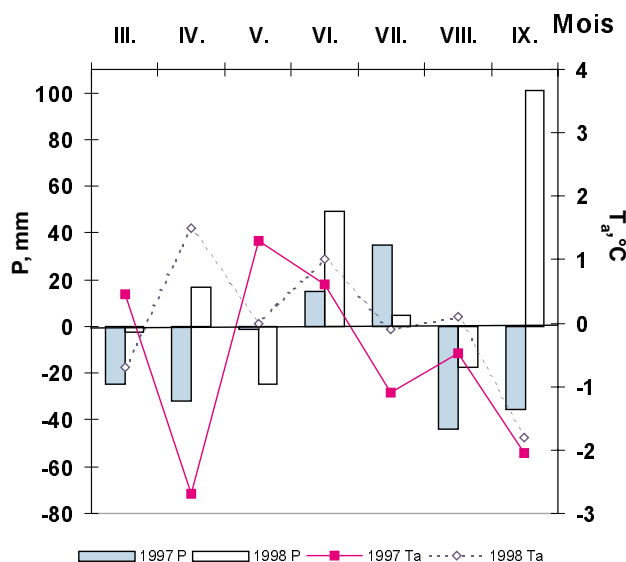


Fig. 1. Les écarts en 1997 et 1998 des températures (Ta) et de la pluviosité (P) moyennes de 30 ans

L'évaporation et la surface exhalatoire

Les résultats des surfaces assimilantes, mesurées sur les plantes des parcelles de pleine terre pendant les deux années ont renforcé l'information reçue dans les descriptions des variétés, que des indices de surface des feuilles (ISF, en anglais : LAI) des deux hybrides ne se différencient aucune l'une de l'autre, au niveau de substance nutritive examinée.

Les surfaces d'assimilation des variétés n'avaient aucune différence significative sauf chez les maïs dans les cases lysimétriques traitées sans azote. Dans la conjoncture de la récolte de Norma a été surpassé – qui a été cultivé sans d'eau – la récolte de MVK, mais la divergence n'aurait pas pu prouver significative. Grâce à la foliaire plus grande de MVK, il a produit

Tableau 1
Les marques des traitements de l'essai

Variétés	Norma		MVK 333 (bref: MVK)	
Traitments	Azote 0 kg ha ⁻¹	Azote 100 kg ha ⁻¹	Azote 0 kg ha ⁻¹	Azote 100 kg ha ⁻¹
P. précip. natur	Norma C	Norma N	MVK C	MVK N
Cases lisim. (ET)	Norma ETC	Norma ETN	MVK ETC	MVK ETN
P. irriguées (I)	Norma IC	Norma IN	MVK IC	MVK IN

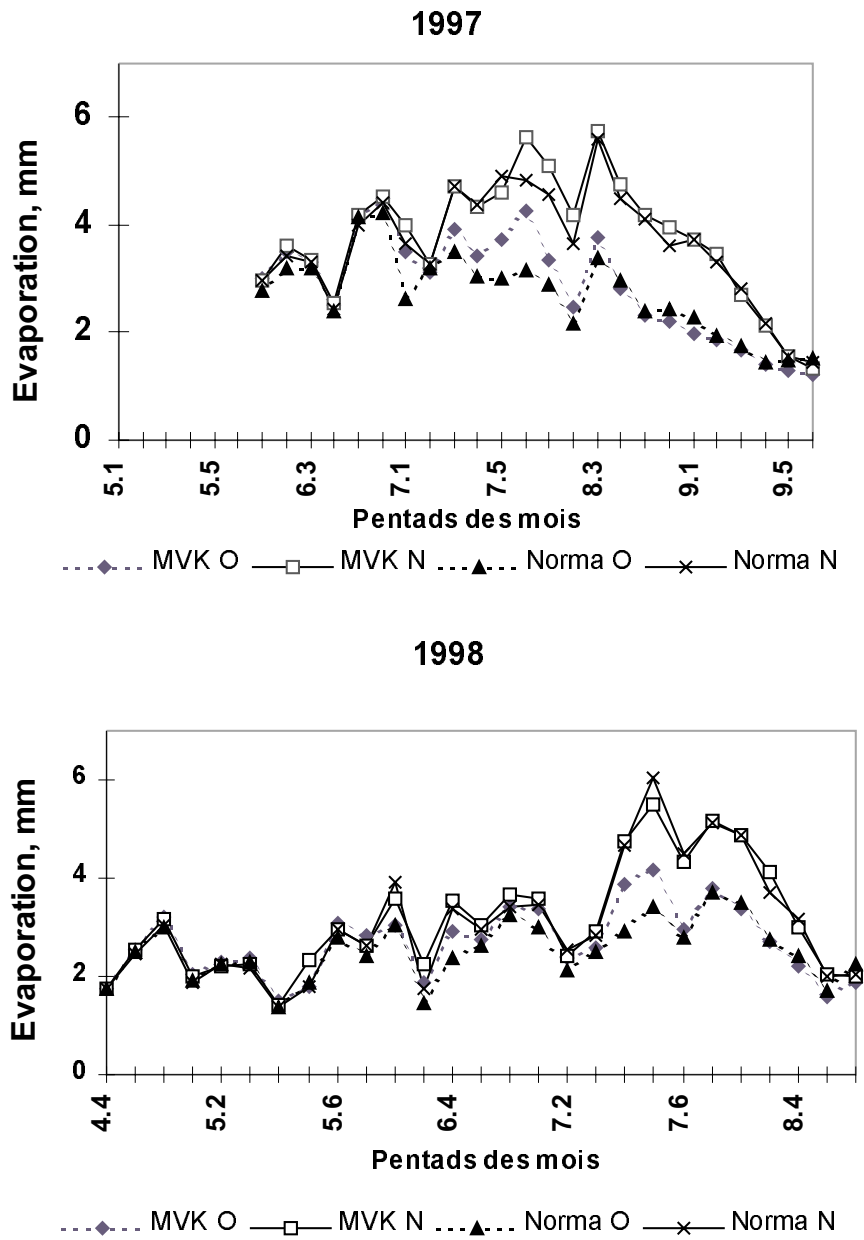


Fig. 2. Les moyens pentads des evapotranspirations en 1997–1998

plus en case lysimétrique, que la Norma, mais la différence n'a pas réalisé dans aucune année le 10%. Par les éléments de LAI de deux années on peut constater, que les deux hybrides ne sont différents de l'un à l'autre que vraiment dans leur exigence d'eau.

Entre les deux hybrides ayant l'exigence en eau différentes, c'était le MVK – sans l'azote additif – où l'évaporation augmentait avec 6–7% (Fig. 2). Le surplus de transpiration de cette variété était dû à l'augmentation de 24% de la superficie exhalatoire des feuilles dans les cases lysimétriques (Fig. 3). Si les plantes avaient obtenu de l'azote, les variétés ne différaient ni concernant de la superficie foliaire, ni l'intensité de leurs évaporations. Il

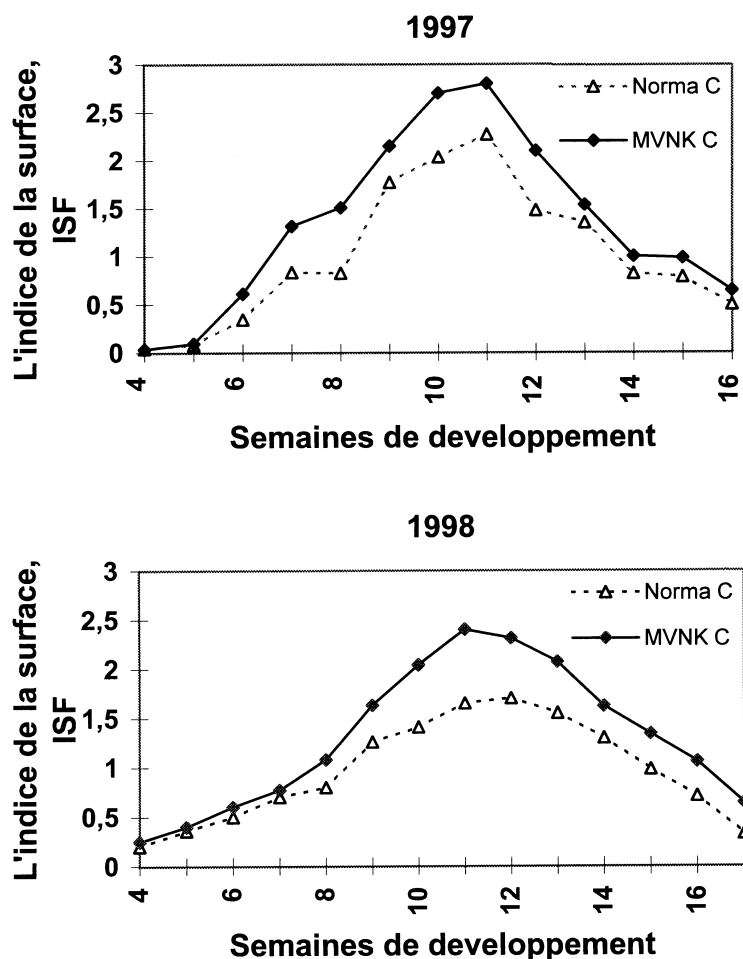


Fig. 3. Les surfaces des feuilles dans les traitements sans azote

est surprenant que les deux hybrides, ayant des exigences différents en eau, utilisaient de mêmes quantités de l'eau en cas de l'alimentation en eau "ad libitum". L'évaporation diminuée chez le Norma xérophytique n'était détectable qu'à la production de sans l'azote additif. En utilisant la dose prescrite de l'azote les transpiration des variétés étaient identiques avec les alimentations en eau "ad libitum".

La résistance stomatique des plantes

En harmonie de la conjoncture de l'évaporation a été changé aussi la résistance stomatique des traitements différents. Nous n'avons pas observé de différence entre les deux années et entre les deux hybrides.

La mesure de la résistance des stomates étaient par jour à chaque heures, la même à coté d'irradiation pures. Nous avons observé une différence significative. Les traitements controls avaient une plus grandes résistance des deux hybrides, que ceux avec l'azote (Tableau 2). C'était en harmonie

Tableau 2

Les moyens journées de la résistance stomatique (r_s) et les évapotranspiration journées (ET) en 1997-98 à quelques journées modèles

1997													
	28 Juin		14 Juillet		31 Juillet		7 Août		14 Août		12 Sept		Moyen
	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s
Norma													
N	4,56	5,1	3,58*	5,3	2,68*	5,7	2,21	5,3	1,92	6,3	5,82	5,1	3,46
O	5,0	4,7	5,42*	3,7	3,77*	4,6	2,97	3,2	2,52	4,1	6,89	4,7	4,43
MVK 480													
N	4,79	5,3	2,92*	5,3	2,47	5,31	1,72	5,9	1,58	5,6	4,64	5,3	3,02
O	4,93	5,0	4,35*	4,4	3,5	4,15	2,55	4,0	2,63	4,2	4,29	5,0	3,71
1998													
	26 Juin		18 Juillet		3 Août		4 Août		6 Août		13 Août		Moyen
	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s	ET	r_s
Norma													
N	6,67	3,8	4,17*	5,0	2,13*	6,1	2,75	4,9	2,12*	5,0	3,91	4,0	3,62
O	7,82	3,5	6,24*	3,2	3,88*	4,0	3,17	3,8	3,52*	3,8	4,89	2,8	4,92
MVK 480													
N	5,98	3,7	4,1	5,1	2,0*	6,2	1,79	6,0	2,13	5,1	3,0	4,4	3,15
O	6,33	3,5	4,87	3,7	3,12*	4,3	2,92	3,8	3,19	4,3	3,6	2,9	4,0

* Différent significatif en niveau 5%

LSD_{5%} : 1,11

avec les réductions d'eau mesurées auparavant. L'influence des traitements dans la case lysimétrique étaient différentes à celle des parcelles.

Avec l'azote, la résistance des stomates dans les deux hybrides diminue de 20–30%. Le changement était plus important dans le Norma, la résistance des stomates était plus grande. Dans les traitements controls, la résistance était plus grande de 17–20%. Le Norma traitées avec l'azote était plus grand, que le MVK.

Le taux d'évaporation de MVK était moins grand, que celui de Norma, ainsi que la résistance. La différence de la résistance entre les deux hybrides traitées avec ou sans azote diminue ainsi que les moyennes quotidiennes.

L'ISH et la température des plantes

Étant donné que la Hongrie s'étend dans le bassin des Carpathes, les changements extrêmes du temps peuvent arriver souvent pendant la période de végétation.

La formation de l'ISH pendant de l'année 1997 soutient et prouve les expériences des producteurs du maïs, acquises pendant plusieurs décennies, ce qu'il y a 3 ans sur 10 où on peut cultiver fructueusement le maïs sans irrigation en Hongrie.

En 1997 les déroulements des ISH de deux variétés ne se diffèrent point dans les traitements différents expérimentaux, c'est pourquoi ici nous ne présentons que les valeurs des indices de Norma (Fig. 4). Il est devenu clair aussi ce que la manque d'eau, elle n'est pas la seule qui peut augmenter l'ISH. Selon nos expériences tous les facteurs, qui deviennent défavorables au point de vue des conditions de culture, vont causer l'augmentation l'ISH (c. à d. la montée de la température superficielle) des plantes. Cette constatation est supportée par l'augmentation forte de l'ISH chez les maïs poussés dans les cases lysimétriques ravitaillées de l'eau sans limitation et traitées sans azote.

Le changement considérable de l'indice du stress des plantes cultivées sans apport d'engrais azoté en cases lysimétriques est dû seulement à la carence en azote. En comparant les résultats des parcelles naturelles et des cases lysimétriques (toutes les deux sans azote) on trouve ce que l'abondance en eau provoque un stress du maïs beaucoup plus important que la carence relative en eau (au même niveau des éléments nutritifs).

En 1997 les ISH-s des plantes des cases lysimétriques dotées d'azote est dépassé quelques fois la limite critique. La manque d'eau et la carence

des substances nutritives sont exclues des causes par la construction des cases lysimétriques. Après une certaine quantité des précipitations, l'année examinée était humide, c'est pourquoi des averses causaient provisoirement de l'anaérobie dans le sol des cases lysimétriques (continuellement approvisionnées de l'eau et ayant un certain retardement du dévernement). Cette anaérobie a provoqué presque les mêmes symptômes du stress que la manque d'eau. En conséquence des journées pluvieuses de 1998, nous avons observé ces symptômes aussi. Alors, nos résultats souli-

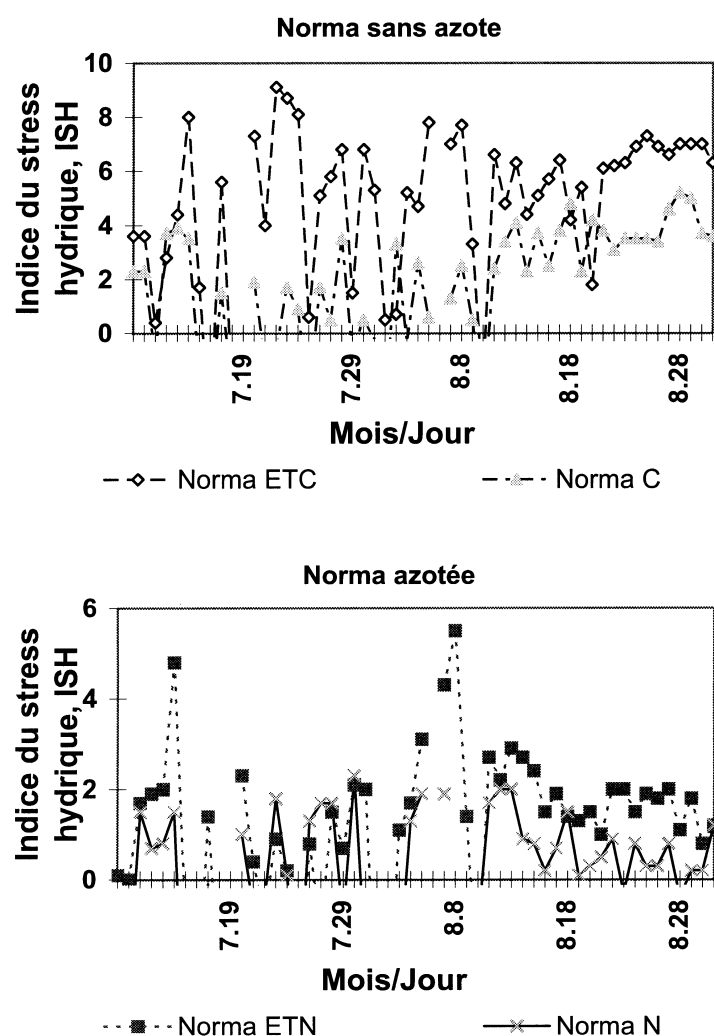


Fig. 4. Les valeurs des indices du stress hydrique (ISH) en 1997

gnent l'importance de l'harmonisation de l'approvisionnement des substances nutritives et de l'eau concernant la production des plantes.

La comparaison des formations des indices de stress des deux variétés en 1998, a donné les résultats opposés à l'attente. Les ISH de Norma xérophile dans chaque traitement sont dépassés celles de MVNK et la première variété devait être arrosée plus fréquemment. Les plantes de la parcelle signalaient des carences en eau 3 fois chez le Norma, et 2 fois chez le

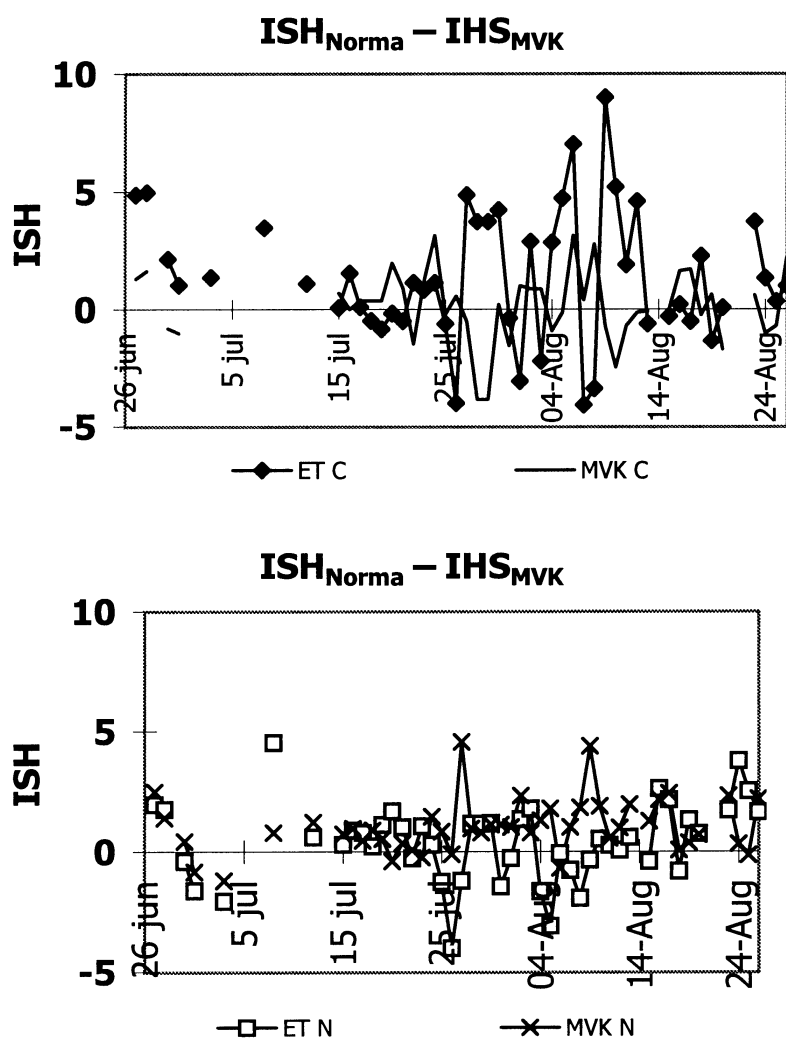


Fig. 5. La comparaison des bilans hydriques d'eau des deux hybrides marqué par la différence des ISH-s

MVNK. La cause de ce fait était dû par la température plus haute de Norma, qui a augmenté son ISH aussi. La différence des températures moyennes des traitements différents des deux variétés était 1.32 °C. La température plus haute de la plante est dû probablement à la conséquence directe de son caractère xérophytique. A cause de l'intensité de sa transpiration restreintes, la plante exige moins de l'eau, elle en économise, mais elle ne peut pas se régler délicatement la température. La transpiration accrue des variétés exigeantes en eau pouvait diminuer la température de la surface des plantes avec finesse.

La comparaison des bilans hydriques d'eau des deux hybrides ont été marqué par la différence des ISH-s (Fig. 5). Nous avons fait la soustraction des ISH-s de Norma – des ISH-s de MVK.

Les ISH-s de Norma sont plus grands, que les ISH-s de MVK. Sans azote étaient les plus grandes différences dans les cases lysimétriques. L'azote a diminué la différence des ISH-s des hybrides. La différence était la plus petite dans les cases lysimétriques azotées.

CONCLUSIONS

Dans certaines années assez pluvieuses on peut cultiver fructueusement du maïs sans arrosage même, c'est une spécificité du climat de la Hongrie, qui se trouve sous l'influence changeant des climats atlantique, continentale et méditerranéen. C'est pourquoi la prévision de la nécessité de l'arrosage est extrêmement incertain, c'est-à-dire personne ne peut savoir d'avance quelles années soient arides, ou bien pluvieuses.

Une indice numérique de l'approvisionnement en eau de la plante, c'est l'ISH (CWSI), qui – selon des observations – peut attirer l'attention non seulement à la manque d'eau, mais bien à la présence des autres facteurs désavantageux pour la plante. La détection des causes directes du stress parmi les conditions de production est bien difficile et pour cela maintenant on ne peut utiliser que la méthode d'exclusion. Dans notre cas l'ISH a été augmentée par la carence en eau et en azote ainsi que l'anaérobie du sol se formant par le ravitaillement parallèle de l'eau courant et de la précipitation excessive de quelques périodes dans les cases lysimétriques. C'est pourquoi si on emploie de l'ISH à surveiller de l'arrosage, il sera offert à assurer toutes les circonstances favorables pour la production (approvisionnement des substances nutritives, protection contre les maladies, etc.).

Assuré de l'eau nécessaire, mais sans azote, ce fait s'avérait un facteur significatif du stress pour tous les deux hybrides de maïs examinés. Les ISH (et parallèlement les autres difficultés des plantes) sont augmentées dans le cas où l'approvisionnement de l'azote était zéro et celui en eau "ad libitum" devenait temps en temps trop abondant par les précipitations naturelles. Il s'est de nouveau avéré ce qu'on ne peut déterminer les dosages raisonnables de l'eau et de l'azote qu'en connaissant de leur rapport et leurs effets communs sur la production finale.

En cas d'un temps humide les ISH et les températures des plantes des traitements des hybrides semblaient être identiques, ici nous n'avons pas pu enregistrer des écarts essentiels des données examinées (Voir : les indications de l'année 1997). Dans le cycle végétatif sec les ISH des variétés étaient discernables à cause des différences de leurs températures. La résistance à la sécheresse s'est unie à une température augmentée de la plante et cette connaissance peut devenir une information supplémentaire et utile pour les sélectionneurs. Par des thermomètres infra-rouges assez répandues, les mesures des températures des plantes sont devenues une méthode simple, rapide et correctement répétable, un moyen utile dans les mains de ceux, qui en veulent utiliser.

LITTÉRATURE

- Anda, A. (1993): Surface temperature as an important parameter of plant stand. – *Időjárás* 97(4): 259–267.
- van Bavel, C. H. M. et Ehler, W. L. (1968): Water loss from a Sorghum field and stomatal control. – *Agron. J.* 60: 84–86.
- Clawson, K. L. et Blad, B. L. (1982): Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. – *Agron. J.* 74: 311–316.
- Duvick, D. N. (1992): Genetic contributions to advances in yield of U. S. maize. – *Maydica* 37(1): 69–79.
- Frey, K. J. (1971): Improving crop yields through plant breeding. – *Am. Soc. Agr. (ASA), Spec. Publ.* 20: 15–88.
- Gardner, B. R., Blad, B. L., Mauer, R. E. et Watts, D. G. (1981): Relationship between crop temperature and the physiological and phenological development of differentially irrigated corn. – *Agron. J.* 73: 743–747.
- Hatfield, J. L. (1990): Methods in estimating evapotranspiration. – In: Tewart, B. A. et Nielsen, D. R. (eds): Irrigation of agricultural crops. Agron. Monogr. 30, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, pp. 435–477.
- Howell, T. A., Tolk, J. A., Schneider, A. D. et Evett, S. R. (1998): Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. – *Agron. J.* 90(1): 3–9.

- Howell, T. A., Steiner, J. L., Schneider, A. D., Evett, S. R. et Tolk, J. A. (1997): Seasonal and maximum daily evapotranspiration of irrigated wheat, sorghum, and corn. – *Trans ASAE* **40**: 623–634.
- Howell, T. A., Yazar, A., Schneider, A. D., Dusek, D. A. et Copeland, K. S. (1995): Yield and water use efficiency of corn in response to irrigation. – *Trans ASAE* **38**: 1737–1747.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Jr., Reginato, J. R. et Hatfield, J. L. (1981): Normalizing the stress degree parameter for environmental variability. – *Agric. Met.* **24**: 45–55.
- Jackson, R. D. (1982): Canopy temperature and crop water stress. – *Advances in irrigation* **1**: 43–85.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, J. R. et Pinter, P. J., Jr. (1981): Canopy temperature as a crop water stress indicator. – *Water Resour. Res.* **17**: 1133–1138.
- Menyhért, Z., Ángyán, J. et Radics, L. (1988): Les connexions des ISF, conditions de luminosités et des productions du maïs semé par des pieds différents par hectare et aux dates différentes. (à la langue hongroise) – *Növénytermelés* **29**(4): 357–367.
- Mtui, T. A., Kanemasu, E. T. et Wassom, C. (1981): Canopy temperature, water use, and water use efficiency of corn genotypes. – *Agron. J.* **73**: 639–643.
- Nagy, J. (1996): L'influence mutuelle de l'arrosage et de la mise en culture dans la production du maïs. (à la langue hongroise) – *Növénytermelés* **4**: 384–395.
- Russel, W. A. (1974): *Comparative performance for maize hybrids representing different ears of breeding*. – Proc. 29th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf. pp. 81–101.
- Sinclair, T. R., Bennett, J. M. et Muchow, R. C. (1990): Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought of field grown corn. – *Crop Sci.* **30**: 690–693.
- Thom, A. S. et Oliver, H. R. (1977): On Penman's equation for estimating regional evaporation. – *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* **103**: 345–357.