

Comparaison de deux modes de gestion d'irrigation pour les fraises

André ANÇAY, Catherine A. BAROFFIO et Vincent MICHEL, Agroscope, 1964 Conthey

Renseignements: André Ançay, e-mail: andre.ancay@agroscope.admin.ch, tél. +41 27 345 35 50, www.agroscope.ch



Figure 1 | Gestion automatisée de l'irrigation basée sur des sondes Watermark® et pilotée par le système WEM (Watermark Electronic Module).

Introduction

L'eau utilisée pour l'irrigation en agriculture représente 45 % de la consommation d'eau potable dans les pays de l'OCDE (OCDE 2010). A l'avenir, le réchauffement climatique va provoquer une élévation de la température et une augmentation du rayonnement qui favoriseront l'évapotranspiration (Fuhrer et Jasper 2009). Selon la même étude, certains scénarios clima-

tiques prévoient une diminution des précipitations estivales de l'ordre de 20 % d'ici à 2050 en Suisse. Cela va donc entraîner une augmentation de la demande en eau d'irrigation pour les plantes cultivées. Cette évolution pourrait causer une augmentation des coûts d'utilisation de l'eau.

En production de fraises, les systèmes d'irrigation sont plus efficaces depuis l'utilisation généralisée du goutte-à-goutte mais l'utilisation rationnelle de l'eau

pour l'irrigation reste une préoccupation croissante pour les producteurs. Avec la perspective des changements climatiques qui s'annoncent, l'optimisation de l'irrigation est donc indispensable pour assurer une production de qualité et maîtriser les coûts de cette ressource dans l'avenir. Dans cette optique, la gestion automatisée de l'irrigation basée sur des sondes Watermark® et pilotée par WEM (Watermark Electronic Module; fig.1) pourrait constituer une solution prometteuse. Ce système permet d'adapter la fréquence et les quantités d'eau apportées au besoin de la plante et au potentiel hydrique du sol, ce qui permet de réduire le risque de lessivage d'eau et de fertilisants. Un essai a été conduit durant trois ans en comparant ce système avec une irrigation manuelle standard, afin de tester la gestion automatisée de l'irrigation sur des fraisiers en plein champ, de mesurer les volumes d'eau appliqués et d'étudier leur impact sur le rendement et la qualité des fraises.

Matériel et méthodes

Site et conduite de la culture

L'essai a été mis en place au Centre de recherche Conthey d'Agroscope Changins-Wädenswil ACW dans la plaine du Rhône à 500 m d'altitude (Valais central) en 2009, 2010 et 2011. La culture de fraises a été installée sur un sol riche en matière organique (3,6 %) contenant 33 % de sable, 44 % de limon et 23 % d'argile.

Le cultivar Cléry, variété de référence en Suisse pour ses qualités agronomiques et gustatives, a été utilisé pour les trois essais. Les plants mottés ont été installés en mono-ligne à fin juillet sur une butte recouverte de plastique noir à une densité de quatre plants/m². Pour faciliter la reprise, les plants ont été irrigués régulièrement par aspersion après la plantation.

L'année de récolte, dès début mars, les fraises ont été couvertes par un tunnel de plastique d'une largeur de 5 m. L'apport de nutriments et d'eau aux plantes a été assuré par fertigation. Une gaine de goutte-à-goutte (t-tape) d'un débit de 5 l/h par mètre linéaire (3 l/h/m²) avec des goutteurs espacés de 20 cm a été installée lors de la mise en place des buttes. La fertilisation (100 kg/ha N, 45 kg/ha P₂O₅, 150 kg/ha K₂O et 25 kg/ha Mg) correspondait aux normes de fumure pour les fraises. La fumure a été apportée avec chaque irrigation de mi-mars à fin mai. La concentration de la solution-mère des engrais a été adaptée à la quantité d'eau différente des deux systèmes d'irrigation afin d'apporter la même quantité globale de fumure.

Résumé ■ En 2010, 2011 et 2012, l'irrigation des fraises basée sur des sondes Watermark® et pilotée par WEM (Watermark® Electronic Module) a été évaluée sous tunnel sur le domaine d'Agroscope à Conthey. Ce procédé d'irrigation a été comparé avec la gestion traditionnelle utilisant des tensiomètres. La gestion pilotée par WEM a permis une économie d'eau de l'ordre de 50 % et un léger gain de rendement. Il n'y a pas eu de différences significatives dans les paramètres qualitatifs des fruits, tels que le calibre, la fermeté et la teneur en sucre.

Procédés d'irrigation

Deux procédés ont été comparés: la gestion manuelle et la gestion automatique de l'irrigation (tabl.1). Chaque procédé était composé de huit répétitions de vingt plants réparties en blocs aléatoires. Pour évaluer l'humidité du sol sous forme de potentiel matriciel du sol, des tensiomètres et des sondes Watermark® ont été installés à trois emplacements au niveau des racines à 20 cm de profondeur au centre de la butte entre deux goutteurs. Dans le procédé d'irrigation automatique, des sondes Watermark® supplémentaires ont été installées à une profondeur de 35 cm.

Pour les deux procédés d'irrigation, l'objectif était de couvrir les besoins en eau d'une culture de fraise basés sur l'ET_c (évapotranspiration de la culture). Pour le calcul de celle-ci, nous avons utilisé les coefficients culturaux (K_c) proposés par Krüger (2008), qui sont de 0,6 pour la période de floraison et de 0,7 pour la période de grossissement des fruits. L'irrigation a été enclenchée manuellement lorsque les tensiomètres indi-

Tableau 1 | Dispositif expérimental avec indication des consignes d'arrosage

Procédé	Mesure de l'humidité du sol	Fréquence des relevés	Seuil de déclenchement	Fréquence des arrosages
Gestion manuelle	Tensiomètre	1 fois par jour, sauf le week-end	20 cbar	1 à 2 fois par semaine
Gestion automatique (WEM)	Watermark®	2 fois par heure		1 à 3 fois par jour

quaient une valeur de 20cbar puis arrêtée à l'aide d'une vanne volumétrique lorsque le volume d'eau programmé était atteint.

Pour la gestion de l'irrigation automatique par WEM, le déclenchement de l'irrigation a également été fixé à 20cbar mesuré par les sondes Watermark®. Le système WEM a été programmé pour trois cycles potentiels d'irrigation quotidiens d'une durée maximum de quarante minutes, à 7 h 30, 11 h ou 15 h. Si la valeur moyenne des sondes Watermark® dépassait 20cbar à ces moments-là, une irrigation avait lieu et si, durant la période d'irrigation, la tension redescendait au-dessous de 20cbar, l'irrigation s'arrêtait. L'irrigation a débuté lorsque cinq à six nouvelles feuilles étalées étaient visibles (stade BBCH 15) et elle a été stoppée après la dernière récolte. L'irrigation a respectivement débuté le 1^{er} avril pour finir le 14 juin en 2010, le 28 mars et le 10 juin en 2011 et le 6 avril et le 15 juin en 2012.

Mesures et observations

Les fruits ont été récoltés trois fois par semaine et triés par appréciation visuelle, selon leur calibre (diamètre supérieur à 25 mm) et l'aspect extérieur du fruit (déformation, couleur hétérogène, problèmes sanitaires). Les fruits déclassés ont été pesés et classés dans les déchets. Le rendement total comprend les fruits commercialisables et les déchets. Le poids moyen des fruits commercialisables a été mesuré lors de chaque récolte en divisant le poids d'une barquette par le nombre de fruits qu'elle contenait.

Les paramètres qualitatifs analysés étaient la teneur en sucres, l'acidité et la fermeté des fruits. Des jus de fraises ont été préparés au mixer pour mesurer la teneur en sucres et en acidité titrable. La teneur en sucres (°Brix) a été évaluée au réfractomètre. L'acidité titrable (g acide citrique/l) a été déterminée à l'aide d'un titrateur avec une solution 0,1 N de soude (NaOH) sur un échantillon de 10 g à un pH final de 8,1. La fermeté des fruits a été mesurée au pénétromètre Durofel (embout plat d'une surface de 0,5 cm²) et exprimée en indice Durofel.

Pour suivre l'état hydrique du sol, les valeurs des tensiomètres ont été relevées tous les jours ouvrables, en estimant par ailleurs le temps nécessaire pour contrôler les tensiomètres et pour déclencher les irrigations.

La différence des effets des procédés a été calculée au moyen d'une analyse de variance (SigmaStat, SPSS).

Résultats

Pour les trois années d'essai, l'irrigation gérée par WEM a généré un meilleur rendement en fraises premier choix que l'irrigation manuelle (tabl. 2). En moyenne sur les trois années, l'irrigation automatique a permis un gain de rendement de 13 %. De l'autre côté, l'irrigation automatique a permis de diminuer significativement les déchets (fruits non commercialisables; tabl. 2). En moyenne des trois années, le poids moyen des fruits n'a pas différé entre les deux systèmes d'irrigation.

Tableau 2 | Rendement, déchet et poids moyen des fruits des deux systèmes de gestion de l'irrigation

Procédé	Rendement 1 ^{er} choix par plante (g)				Déchets (% du rendement total)				Poids moyen des fruits (g)			
	2010	2011	2012	Ø	2010	2011	2012	Ø	2010	2011	2012	Ø
Gestion manuelle	673,4	472,3	222,7	432,3	3,8	8,7	17,7	10,0	17,5	14,5	14,3	15,4
Gestion automatique (WEM)	710,4	487,9	344,1	490,1	4,1	6,6	12,8	7,9	16,2	13,8	15,2	15,1
Différence statistique valeur P	non 0,137	non 0,377	oui <0,001	oui <0,001	non 0,645	oui 0,015	oui <0,001	oui <0,001	oui <0,001	oui 0,040	oui 0,007	non 0,060

Ø = moyenne des trois années.

Tableau 3 | Influence des deux systèmes de gestion de l'irrigation sur la fermeté et la qualité des fruits exprimée par la teneur en sucre et l'acidité totale

Procédé	Fermeté (indice Durofel)				Teneur en sucre (° Brix)				Acidité totale (g/l)			
	2010	2011	2012	Ø	2010	2011	2012	Ø	2010	2011	2012	Ø
Gestion manuelle	75,5	72,8	70,0	72,8	7,7	8,5	9,3	8,5	8,3	8,3	8,2	8,2
Gestion automatique (WEM)	74,5	73,1	71,8	73,1	8,4	9,0	9,7	9,0	8,2	8,2	8,2	8,3
Différence statistique valeur P	non 0,523	non 0,574	non 0,329	non 0,361	non 0,502	oui 0,015	non 0,335	non 0,214	non 0,010	non 0,427	non 0,024	non 0,008

Ø = moyenne des trois années.

L'analyse par année montre par contre un poids des fruits significativement plus élevé en 2010 et 2011 pour l'irrigation manuelle (tabl. 2) tandis qu'en 2012, c'est le procédé piloté par WEM qui a entraîné une hausse significative du poids des fruits. La qualité des fruits, la fermeté des fruits, l'indice Brix ou l'acidité n'ont pas été significativement influencés par la gestion de l'irrigation (tabl. 3), même si la teneur en sucre tend à être plus élevée dans le procédé piloté par WEM.

L'évolution du potentiel matriciel du sol dans le procédé d'irrigation automatique montre deux phases clairement différentes en 2011 (fig. 2). Les sondes Watermark® installées à 20 cm de profondeur affichaient des valeurs de 10 à 30 cbar jusqu'au milieu de la période de récolte vers mi-mai. Après cette date, les valeurs ont varié entre 15 et 0 cbar. Dans le procédé irrigation manuelle mesuré avec des tensiomètres, le potentiel matriciel du sol était similaire dans la première phase. Par contre, dès la mi-mai, les valeurs mesurées dans ce procédé étaient plus élevées que pour l'irrigation pilotée par WEM.

En 2012, le suivi du potentiel matriciel du sol s'est limité à la première partie de la période d'irrigation, à cause d'une défaillance technique. L'évolution du potentiel matriciel du sol montrait des fluctuations moins prononcées (fig. 3) qu'en 2011. A 20 cm de profondeur, les sondes Watermark® variaient entre 10 et 25 cbar pendant toute la période de mesure. De même, les sondes placées à une profondeur de 35 cm montrent qu'il n'y a pas de période saturée et que, malgré les

faibles volumes d'eau apportés, le sol ne subit pas d'assèchement (fig. 4).

Dans le procédé d'irrigation manuelle, les valeurs des tensiomètres fluctuaient régulièrement entre 5 et 25 cbar.

Dans le procédé irrigué manuellement, 1,6 l/m² a été apporté par jour jusqu'à la fin de la floraison, puis 2,6 l/m² jusqu'à la fin de la récolte. Dans la variante WEM, les apports étaient de respectivement 0,6 et 1,5 litre/m² par jour.

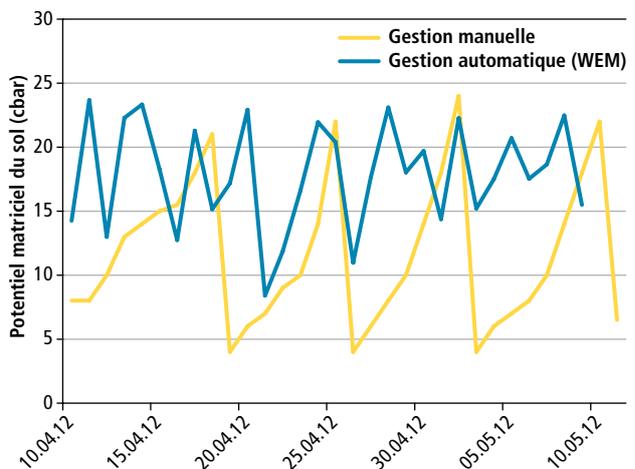


Figure 3 | Evolution du potentiel matriciel du sol en 2012 mesurée dans les procédés d'irrigation manuelle (moyenne de trois tensiomètres) et d'irrigation automatique (moyenne de trois sondes Watermark®).

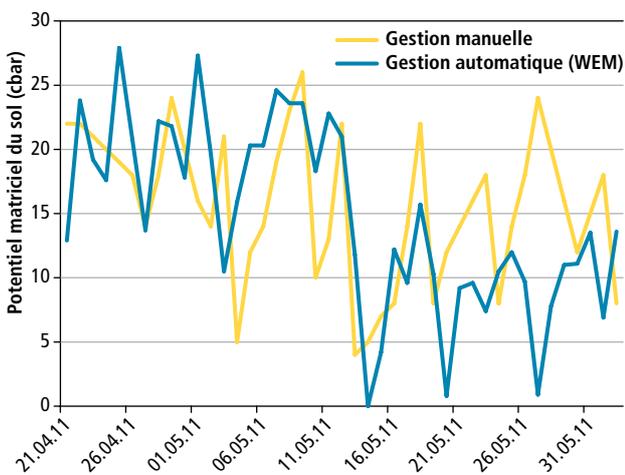


Figure 2 | Evolution du potentiel matriciel du sol en 2011 mesurée dans les procédés d'irrigation manuelle (moyenne de trois tensiomètres) et d'irrigation automatique (moyenne de trois sondes Watermark®).

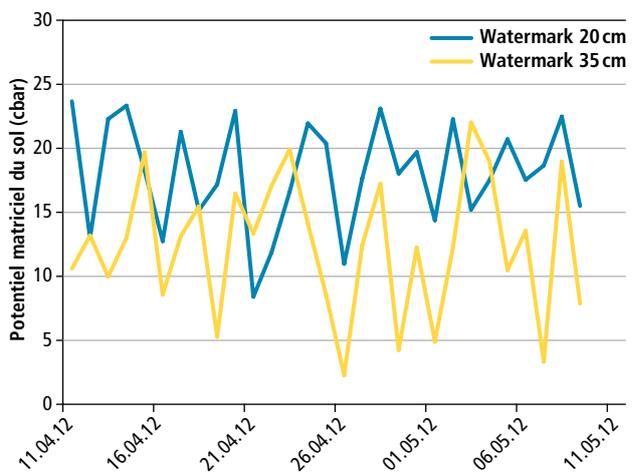


Figure 4 | Evolution du potentiel matriciel du sol en 2012 mesurée dans le procédé d'irrigation automatique à 20 et à 35 cm de profondeur (moyenne de trois sondes Watermark®).

La gestion automatique de l'irrigation par le système WEM a permis une économie importante d'eau (tabl.4), représentant respectivement 755, 888 et 938 m³/ha en 2010, 2011 et 2012. Avec un prix de 1,60 CHF/m³ d'eau (Kopp *et al.* 2012), les économies réalisées correspondent à 1208, 1421 et 1500 CHF/ha. De plus, la gestion automatique de l'irrigation a permis de réduire le temps de travail (suivi des tensiomètres et déclenchement manuel des irrigations) d'environ vingt heures/ha, ce qui représente une économie supplémentaire de 615 CHF/ha.

Tableau 4 | Paramètres d'irrigation des trois essais de 2010 à 2012

Procédé	Quantité d'eau apportée par jour (l/m ²)			
	2010	2011	2012	Ø
Gestion manuelle	2,53	2,33	2,29	2,38
Gestion automatique (WEM)	1,51	1,13	0,95	1,20
Economie d'eau en %	40,3	51,4	58,6	50,1

Ø = moyenne des trois années.

Discussion

En 2010, le rendement des deux procédés a été sensiblement plus élevé qu'en 2011 et 2012. En 2012, le faible rendement peut s'expliquer par le gel d'hiver qui a détruit une partie des cœurs des plantes. Pour 2011, le faible rendement est probablement dû au mois d'avril très chaud: ce stress thermique a accéléré la croissance des hampes florales et le mûrissement des fruits au détriment du grossissement des fruits, avec à la clé une diminution du calibre des fruits à la récolte, comme l'ont démontré les travaux de Boivin (2008) sur l'impact du stress thermique sur le rendement des fraises.

Le système de gestion automatique de l'irrigation basé sur des sondes Watermark® et piloté par WEM a permis d'irriguer de manière plus fine avec plusieurs déclenchements journaliers pendant les périodes où la plante a une forte consommation d'eau. Il en a résulté une économie d'eau de 40 à 58 %. La fraise est une culture qui réagit fortement au manque d'eau par une diminution du rendement en cas d'apport insuffisant (Liu *et al.* 2007; Kumar et Dey 2012; Yuan *et al.* 2004). Cependant, cette diminution importante de la quantité d'eau n'a pas eu d'incidence négative sur le rendement, ce qui permet de considérer comme inutile le surplus d'eau utilisé dans le procédé d'irrigation manuelle. En plus du coût supplémentaire, une irrigation

trop généreuse peut aussi provoquer des problèmes phytosanitaires. Dans des cultures comme la betterave à sucre, la luzerne, la pomme de terre ou le melon, une humidité du sol élevée a eu pour effet d'augmenter l'incidence des maladies telluriques (Harveson et Rush 2002; Jefferson et Gossen 2002; Olanya *et al.* 2010; Pivonia *et al.* 2004).

Le poids des fruits est un aspect important dans la production de fraises. Des fruits plus gros diminuent les frais de récolte, qui représentent en moyenne 40 % des frais de production (FUS 2012). Une irrigation généreuse peut induire un poids du fruit supérieur (Yuan *et al.* 2004), comme cela a été mesuré dans nos essais en 2010 et 2011. Les fruits irrigués manuellement ont reçu 40 et 51 % de plus d'eau et leur poids moyen était significativement supérieur. En 2012, malgré un volume d'irrigation comparable, le poids des fruits de cette variante a été significativement inférieur. Cette année, le potentiel matriciel à 20 cm de profondeur du procédé d'irrigation automatique se trouvait toujours dans une plage optimale oscillant entre 10 et 20 cbar, alors que celui de l'irrigation manuelle est descendu à plusieurs reprises au-dessous de 5 cbar. De plus, la quantité d'eau apportée dans ce procédé équivalait à 140 % de celle de la gestion automatique. Cette humidité du sol élevée a pu se révéler néfaste pour le développement des fraises.

L'irrigation automatique gérée par WEM permet une économie d'eau substantielle par rapport à l'irrigation manuelle traditionnelle. Selon l'année, cette économie a atteint 41 à 58 %, ce qui correspond à une épargne de 1200.– à 1500.– CHF/ha. Ces montants représentent approximativement les coûts annuels du WEM. Une économie supplémentaire est réalisée par la diminution des heures de travail pour le suivi des tensiomètres et le déclenchement manuel des irrigations.

Conclusions

- L'irrigation automatique a entraîné une augmentation moyenne du rendement de 13 % sur les trois années d'essai, sans incidence significative sur le calibre des fruits.
- Le mode de gestion de l'irrigation n'a pas eu d'incidence significative sur les paramètres qualitatifs des fruits (fermeté, teneur en sucre, acidité).
- L'irrigation automatique gérée par WEM (Watermark Electronic Module) a permis de diminuer nettement la consommation d'eau par rapport à l'irrigation manuelle traditionnelle: 41 à 58 % d'économie selon l'année, correspondant à une épargne de 1200 à 1500 CHF/ha. ■

Summary

Comparison of two irrigation management systems in strawberry

In 2010, 2011 and 2012, the irrigation of strawberry based on Watermark® probes and managed by WEM (Watermark® Electronic Module) was tested under tunnel at Agroscope Conthey. It was compared with the traditional irrigation system using tensiometers. The WEM controlled treatment allowed a reduction of irrigation water of around 50 % and a slight increase of the yield, without any significant differences in fruits quality parameters, such as fruit size, firmness and sugar content.

Key words: strawberry, irrigation, soil moisture measurement, water saving.

Zusammenfassung

Vergleich von zwei Bewässerungssystemen in Erdbeeren

Im 2010, 2011 und 2012 fanden am Agroscope in Conthey Bewässerungsversuche von Erdbeeren unter Tunnel statt. Dabei wurde das auf Watermark® - Sonden gestützte und durch WEM (Watermark® Electronic Module) gesteuerte Verfahren mit dem traditionellen Verfahren, welche mit Tensiometer arbeitet, verglichen. Das durch WEM gesteuerte Verfahren erlaubte eine Wassereinsparung in der Größenordnung von 50 % und einen leichten Ertragsanstieg. Es gab keine signifikanten Unterschiede bei den Qualitätsparametern der Früchte, wie das Kaliber, die Festigkeit und dem Zuckergehalt.

Riassunto

Confronto tra due metodi di gestione dell'irrigazione delle fragole

Negli anni 2010, 2011 e 2012 è stata valutata presso Agroscope, nel centro di Conthey l'irrigazione delle fragole in tunnel che poggia sulle sonde Watermark® ed è pilotata attraverso WEM (Watermark® Electronic Module). Questo procedimento d'irrigazione è stato confrontato con la gestione tradizionale mediante tensiometri. La gestione pilotata da WEM ha permesso un risparmio di acqua del 50 % ca e un leggero guadagno di resa. Non vi sono state, per contro, differenze significative relative ai parametri qualitativi dei frutti, quali il calibro, la fermezza e il tenore zuccherino.

Bibliographie

- Boivin C., 2008. La micro-aspersion pour contrôler la température dans la fraise à jours neutres. Adresse: www.agrireseau.qc.ca/petitsfruits/documents/Miro-aspersion.pdf
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit in der Schweiz. Schlussbericht, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), 74 p.
- FUS, 2012. Guide des petits fruits. Fruit Union Suisse, Zug, 149 p.
- Harveson R. M. & Rush C. M., 2002. The influence of irrigation frequency and cultivar blends on the severity of multiple root diseases in sugar beets. *Plant Dis.* **86** (8), 901–908.
- Jefferson P. G. & Gossen B. D., 2002. Irrigation increases Verticillium wilt incidence in a susceptible alfalfa cultivar. *Plant Dis.* **86** (6), 588–592.
- Kopp M., Ançay A., Berger H.-P., Steinemann B. & Thoss H., 2012. Erdbeeren – Produktionskosten 2012, Fruit Union Suisse, Zug.
- Krüger E., 2008. Bewässerungssteuerung bei Erdbeeren und Himbeeren. *Monatsschrift Forschungsanstalt Geisenheim* **96**, 8–9.
- Kumar S. & Dey P., 2012. Influence of soil hydrothermal environment, irrigation regime and different mulches on the growth and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* L.) in a sub-temperate climate. *J. Hort. Sci. Biotech.* **87** (4), 374–380.
- Liu F., Savić S., Jensen C. R., Shahnazari A., Jacobsen S. E., Stikić R. & Andersen M. N., 2007. Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. *Sci. Hort.* **111**, 128–132.
- OECD, 2010. Sustainable Management of Water Resources in Agriculture. ISBN 978-92-64-083455, 120 p.
- Olanya O. M., Porter G. A., Lambert D. H., Lakin R. P. & Starr G. C., 2010. The effects of supplemental irrigation and soil management on potato tuber diseases. *Plant Path. J.* **9** (2), 65–72.
- Pivonia S., Cohen R., Cohen S., Kigel J., Levita R. & Katan J., 2004. Effect of irrigation regimes on disease expression in melon plants infected with *Monosporascus cannonballus*. *Eur. J. Plant Path.* **110**, 155–161.
- Yuan B. Z., Sun J. & Nishiyama S., 2004. Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse. *Biosystems Engineering* **87** (2), 237–245.