

L.F. DI CESARE¹,
C. MIGLIORI¹, D. VISCARDI¹,
M. PARISI², A. PENTANGELO²,
I. GIORDANO²

Effetti dell'irrigazione e della concimazione potassica sulla qualità alimentare e nutraceutica di due genotipi di pomodoro

PROGRESS IN NUTRITION
VOL. 10, N. 4, 245-255, 2009

TITLE

Effects of irrigation and potassium fertilization on alimentary and nutraceutical quality of two small tomato genotypes

KEY WORDS

Volatile substances, GC/MS analysis, soluble sugars, lycopene, HPLC analysis, *Lycopersicon lycopersicum* L

PAROLE CHIAVE

Sostanze volatili, analisi GC/MS, zuccheri solubili, acidi organici, licopene, analisi HPLC, *Lycopersicon lycopersicum* L

¹CRA-IAA, Unità di Ricerca per i Processi dell'Industria Agro-Alimentare, Milano, Italy
²CRA-ORT, Centro di Ricerca per l'Orticoltura, Pontecagnano (SA), Italy

* Ricerca finanziata dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali con fondi C.I.P.E. (Delibera 17/2003)

Indirizzo per corrispondenza:

Dr. Luigi Francesco Di Cesare
CRR - IAA, Via Venezian, 26 - 20133 Milano
Tel. 02/239557215
Fax 02/2365377
E-mail: luigi.dicesare@entecra.it

Summary

In this paper were studied the effects of the irrigation and the potassium fertilisation on the content of the volatile substances (*characteristic volatile compounds*: hexanal, 2(E)-hexenal, 2-isobutylthiazole and *contributor volatile compounds*: alcohols, carbonilic compounds = aldehydes + chetons, sulfurs, terpens, phenolic compounds), soluble sugars (glucose, fructose), pH, organic acids (oxalic, malic, citric), dry matter for alimentary quality and of lycopene for nutraceutical one. The volatile substances were extracted and concentrated from vegetable by microwave-resin-solvent and then analysed quali-quantitatively by GC/MS; while the soluble sugars, organic acids and lycopene by HPLC. As concern the alimentary quality, in Corbarino the content of characteristic volatile compounds increased in the irrigated and fertilised samples, and in Vesuviano unirrigated and unfertilised. For the contributor volatile compounds, an increase was observed only for alcohols or for all the classis of compounds respectively in Corbarino and Vesuviano in the unirrigated samples with or without fertilization. As concern the other alimentary parameters, no influence of two cultural techniques was ascertained on pH and the content of fructose and oxalic acid for both genotypes. While only in Vesuviano was noted a decrease of dry matter in the irrigated samples. Besides in the unirrigated samples, with or without fertilization, the content of oxalic acid and glucose respectively in Corbarino and Vesuviano. But an increase of the content of citric acid was ascertained in Vesuviano in the unirrigated and fertilized samples. As concern the nutraceutical quality, a light increase of lycopene was observed in both genotypes in the irrigated samples with or without fertilization.

Riassunto

Sono stati studiati gli effetti dell'irrigazione e della concimazione potassica sul contenuto in sostanze volatili (*componenti volatili caratteristici*: esanale, 2(E)-esenale, 2-isobutiltiazolo e *componenti volatili contributori*: alcoli, composti carbonilici = aldeidi + chetoni, solfuri, terpeni, derivati fenolici), zuccheri solubili (glucosio, fruttosio), pH, acidi organici (acido ossalico, malico, citrico), residuo secco e licopene di due genotipi di pomodorini. I risultati hanno evidenziato che nel genotipo Corbarino, i

componenti volatili caratteristici aumentavano con l'incremento del regime irriguo, soprattutto in presenza di concimazione potassica, mentre nel Vesuviano diminuivano sia con l'irrigazione che con l'apporto di potassio. Per i componenti volatili contributori si osservava un incremento degli alcoli nei campioni di entrambi i genotipi sottoposti a irrigazione "ridotta", indipendentemente dall'apporto o meno di concimazione potassica. Per quanto concerne gli altri parametri che definiscono la qualità alimentare, nessuna influenza delle due tecniche colturali veniva accertata per il pH ed il contenuto in fruttosio ed acido ossalico, mentre solo nel Vesuviano si evidenziava una diminuzione significativa del residuo secco all'aumentare dell'irrigazione. Inoltre, un ridotto apporto irriguo, determinava un aumento del contenuto di acido malico nel Corbarino e di glucosio nel Vesuviano, indipendentemente dal livello di concimazione potassica, ed un incremento del contenuto di acido citrico nel solo Vesuviano, in presenza di apporto di potassio. Per quanto concerne la qualità nutraceutica, l'esperimento ha evidenziato un leggero incremento del contenuto di licopene in entrambi i genotipi all'aumentare dell'irrigazione.

Introduzione

L'irrigazione e la concimazione potassica sono due tra le tecniche agronomiche che influenzano maggiormente la qualità del pomodoro, in termini di caratteristiche merceologiche, chimico-fisiche e nutraceutiche. Diversi studi evidenziano che regimi irrigui elevati determinano la riduzione di solidi totali, residuo ottico, zuccheri e sono causa di un peggioramento del colore e della consistenza dei frutti (1-4).

In generale, l'aumento degli apporti idrici, nel pomodoro, incrementa la produzione, ma riduce la qualità dei frutti a causa di un più alto contenuto in acqua (5). Con-

seguentemente, diminuisce il contenuto in vitamine, minerali e carotenoidi riferito al peso fresco, anche se, comunque, non tutti i composti nutraceutici rispondono allo stesso modo alle variazioni del livello di umidità del suolo. D'altra parte, viene anche evidenziato che l'incremento di acido abscissico, indotto da regimi irrigui limitati, può influenzare la produzione di etilene e, quindi, la sintesi di carotenoidi (6).

La concimazione potassica favorisce l'aumento della sostanza secca, del residuo ottico, degli zuccheri e dell'acidità e determina una riduzione del rapporto zuccheri/acidi (7-9). Trudel e Ozburn (10, 11) riportano che il potassio migliora la

colorazione dei frutti, aumentando il contenuto di licopene e riducendo quello del β -carotene. L'effetto positivo della concimazione potassica sull'incremento di licopene è confermato, più recentemente, anche da altri autori (12, 13), così com'è dimostrato che carenze di potassio possono determinare una riduzione nella sintesi dei carotenoidi, in particolare del licopene (14). Una buona nutrizione potassica, infine, riduce una serie di fisiopatie dei frutti, tra cui scoloritura, *gray-wall*, *blotchy ripening*, *green back* e *yellow shoulder* (15).

Nel pomodoro fresco sono stati identificati numerosi composti volatili, tra i quali i più comuni sono: 2(E)-esenale, esanale, 3(Z)-esen-

1-olo, β -ionone, 2(E)4(E)-deca-dienale, 2-isobutiltiazolo, 3(Z)-esenale, nonché pentanale, 3-metil-1-butano, 2-metil-1-butano, 2(E)-pentenale, 1-pentanolo, benzaldeide, 2(E)-eptenale, 6-metil-5-epten-2-one, 2(E)-ottenale, linalolo, 2(E)-nonenale, 2-metosifenolo, metilsalicilato, 2,3-eposigeranale, nerale, geranale e neril acetone (16). Test sensoriali effettuati sui vari campioni di diverse linee di pomodoro fresco mostrano che i componenti volatili maggiormente responsabili dell'odore di pomodoro fresco sono: esanale, 2(E)-esenale, 3(Z)-esen-1-olo, 2-isobutiltiazolo (16). Nella valutazione della qualità alimentare del pomodoro si deve tener conto anche degli zuccheri solubili e degli acidi organici che influenzano il gusto. Gli zuccheri e gli acidi organici rappresentano più della metà della sostanza secca contenuta nelle bacche. La componente zuccherina è rappresentata in massima parte dal fruttosio e glucosio con tracce di saccarosio. Generalmente, la quantità di zuccheri può essere correlata con il contenuto in sostanze solide solubili, mentre gli acidi organici presenti nel pomodoro sono principalmente il citrico ed il malico, con la predominanza di quest'ultimo (17, 18). Il licopene, carotenoide responsabile del colore rosso del pomodoro, è dotato di attività antiossidante ed antiradicalica, che sembra esplicarsi

nel rallentamento dei processi di invecchiamento cellulare e nella prevenzione di alcune forme tumorali (all'intestino e alla prostata soprattutto) (19, 20). Nei pomodori freschi esso si trova prevalentemente nella forma *all-trans* (79-91%), mentre la parte restante nelle forme *cis*. Nel sangue umano, dopo ingestione di pomodoro, circa il 50% del licopene totale si trova sotto forma di *cis*-isomeri: ne sono stati identificati 15-18, ma quelli più comuni sono il 5, il 9, il 13 e il 15 (21).

Materiali e metodi

Prova agronomica e campionamento

La prova è stata condotta nell'anno 2007 nell'azienda sperimentale di Battipaglia del CRA – Centro di Ricerca per l'Orticoltura. Il terreno sede della prova, a giacitura pianeggiante, era di origine alluvionale, abbastanza profondo, di media costituzione fisica, tendente all'argilloso (franco-argillosa) e quindi, abbastanza compatto e tenace, caratterizzato da buona ritenzione idrica e sufficientemente dotato dei principali elementi nutritivi, con bassissima conducibilità, povero di calcare ed a reazione debolmente alcalina. In particolare, riguardo al potassio, sia la frazione assimilabile che quella scambiabile si attestavano su valori

elevati (345 ppm e 0,72 meq/100 g di suolo, rispettivamente). Il rapporto Mg/K, pari a 3,0, era da ritenersi ottimale.

Utilizzando uno schema sperimentale a parcelle suddivise con tre ripetizioni, sono stati confrontati due regimi irrigui [uno "ridotto", con volume stagionale irriguo di 300 mc ha⁻¹ (I₁) e uno "normale", con volume stagionale irriguo di 1500 mc ha⁻¹ (I₂)], due livelli di concimazione potassica [nessun apporto (K₀) e 200 kg ha⁻¹ di K₂O (K₁)] e due varietà di pomodoro con frutti piccoli [Corbarino (C) e Vesuviano (V)], normalmente utilizzati sia per il consumo fresco sia per la trasformazione industriale, sia per il serbo (22, 23).

Il trapianto è stato effettuato il 16 maggio, adottando una densità di investimento di 4 piante m⁻² (0,25 m sulla fila ed 1,0 m tra le file). Le altre operazioni colturali sono state eseguite secondo la norma. Sono state effettuate due raccolte (il 20 agosto e il 24 settembre) e, in corrispondenza di ognuna, sono stati eseguiti rilievi produttivi, bio-morfologici e fitopatologici, secondo quanto indicato da Giordano et al., 2000. L'andamento climatico è stato caratterizzato da assenza totale di precipitazioni per quasi tutto il periodo di coltivazione (da metà giugno a tutto agosto).

Campioni di prodotto fresco rappresentativi di ogni singola parcella della raccolta quantitativamente

più rilevante (20 agosto) sono stati sottoposti alle determinazioni chimico-fisiche e nutraceutiche qui appresso dettagliate.

Estrazione-concentrazione ed analisi GC/MS della frazione volatile

L'estrazione-concentrazione dei componenti volatili dei frutti è stata eseguita mediante una tecnica combinata microonde-resina apolare KS112. Campioni di 300 g di polpa, addizionati di 300-400 mL di H₂O distillata, sono stati posti in un contenitore di vetro da 1L ed omogeneizzati con ultraturrax. Il contenitore era munito di due portagomma, di cui uno collegato ad una bombola di N₂ e l'altro ad un refrigerante ad acqua dotato di una colonna di vetro contenente 25 mL di resina. Il contenitore è stato posto in un forno a microonde ed irradiato a 500 watt per 45 min. I componenti volatili, estratti dalle microonde, sono stati rimossi mediante corrente di N₂, condensati ed adsorbiti su resina. L'eluizione dei componenti volatili dalla resina è stata eseguita con 100-150 mL di etere etilico puro. La fase eterea, dopo disidratazione con Na₂SO₄ anidro, è stata completamente allontanata in un evaporatore Kuderna-Danish, ottenendo un estratto puro. Per l'analisi qualitativa, 1 µL di estratto è stato iniettato in una colonna capillare DB-1 (l = 60 m;

d.i. = 0.25 mm; spessore del film = 0.25 µm) riscaldata a 50°C per 5 min e poi portata a 240°C per 20 min con un incremento di 2°C/min. La temperatura dell'iniettore e del transfer-line è stata, rispettivamente, di 200 e 240°C. Il flusso del gas di trasporto (He) è stato di 0.9 mL/min, con uno split di 20 mL/min. Gli spettri di massa sono stati generati a 70 eV ed il range di massa selezionato era compreso tra 30 e 400 Amu. L'analisi quantitativa è stata eseguita alle stesse condizioni operative descritte per quella qualitativa, usando tre soluzioni standard a vari gradi di diluizione [esanale, 2(E)-esenale, 2-isobutiltiazolo, 6-metil-5-epten-2-one, nerale, geraniale]. I componenti volatili di cui non si dispone di standard commerciali sono stati quantificati mediante la procedura dello standard interno.

Determinazione degli zuccheri

10 g di campione sono stati dispersi più volte in 30 ml di acqua distillata e centrifugati. I surnatanti sono stati portati a 100 ml con acqua distillata. 20 µl di estratto sono stati poi iniettati in un HPLC munito di colonna per carboidrati (Benson Carbohydrate BC-100 Ca⁺, 300 mm x 7.8 mm) e collegato ad un detector RI, operando alla temperatura di 85°C. La fase mobile era costituita da acqua bidistillata con un flusso di 0.6 ml/min.

Determinazione degli acidi organici

L'estrazione è stata identica a quella degli zuccheri. Gli estratti sono stati analizzati per via HPLC usando una colonna polimerica a scambio cationico (All-tech IOA-1000, 300 mm x 7.8 mm) collegata ad un detector UV/Vis ad una λ di 210 nm e, come eluente, H₂SO₄ 10⁻³ N con flusso di 0.6 ml/minuto.

Estrazione del licopene ed analisi HPLC

10 g di purea di pomodoro sono stati posti in un provettone da centrifuga ricoperto con carta d'alluminio ed aggiunti di 100 ml di una soluzione 2:1:1 (v:v:v) di esano:acetone:etanolo. La miscela è stata agitata per 10 min in presenza di ghiaccio per evitare l'isomerizzazione del licopene. Dopo l'aggiunta di 15 ml di H₂O bidistillata, la miscela è stata nuovamente agitata per 5 min e poi centrifugata a 4100 rpm per 15 min a 5°C. Il surnatante (fase esanica), filtrato con filtri in cellulosa rigenerata da 0.22 µm (Microcolumn S.r.l., Lissone, Milano), è stato conservato a -80°C fino al momento dell'analisi. L'intera estrazione è stata effettuata proteggendo la miscela da radiazioni luminose.

I campioni sono stati analizzati mediante una separazione isocratica condotta su una colonna poli-

merica C30 (4.6 mm i.d.x 250 mm, YMC, Inc. Wilmington, NC, USA). È stata usata, come fase mobile, una miscela costituita da metanolo:metilbutiletero:etilacetato in rapporto 50:40:10 con un flusso di 1 ml/min. La temperatura di esercizio è stata di 35°C ed il tempo di analisi di 35 min.

Per quantificare il licopene presente nei campioni, sono state iniettate delle soluzioni standard con concentrazioni comprese tra 1-10 µg/20 µl.

Residuo secco

Il residuo secco è stato determinato su 5 g di prodotto in una stufa da laboratorio mantenuta a 80°C fino a peso costante dei campioni.

Analisi statistica

Tutti i dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza Anova e al test di Tukey ($p \leq 0,05$).

Risultati e discussione

Nella tabella 1 sono riportati i componenti volatili identificati nei frutti delle due varietà in rapporto ai due regimi irrigui e ai due livelli di concimazione potassica. Dall'analisi dei dati emerge che la maggior parte dei componenti volatili vengono riscontrati in entrambi i genotipi, mentre la loro concen-

trazione (µg/100 g s.s.) è risultata influenzata sia dall'irrigazione sia dalla concimazione. In tutti i campioni è stata osservata la presenza di composti carbonilici (aldeidi + chetoni) come: 3-metil-3-buten-2-one, 1-penten-3-one, pentanale, 2(E)-pentenale, esanale, 2(E)-esenale, n-eptanale, benzaldeide, 2(E)-eptenale, 1-otten-3-one, 6-metil-5-epten-2-one, 2(E)4(E)-eptadienale, 2(E)4(Z)-eptadienale, 2(E)-ottenale, 6-metil-3,5-eptadien-2-one, 2(E)-nonenale, 2(E)4(E)-decadienale e 2(E)4(Z)-decadienale. Per quanto concerne gli alcoli notiamo la presenza dell'1-penten-3-olo, 2-pentanololo, 3-metil-1-butanolo, 2-metil-1-butanolo, 1-pentanololo, 3(Z)-esen-1-olo, 1-esanololo, 6-metil-5-epten-2-olo, alcol benilico ed alcol fenilico. Tra i solfuri sono stati identificati il 3(metiltio)propanale, il dietil disolfuro e il dimetil trisolfuro; tra i derivati fenolici il 2-metossifenolo, il metilsalicilato e l'eugenolo. I terpeni sono, invece, rappresentati dal 2,3-epossigeraniale, nerale, geraniale, β -(Z)-ionone, β (E)-ionone. Infine, è stato riscontrato un derivato eterociclico quale il 2-isobutiltiazolo.

Per valutare meglio l'influenza dell'irrigazione e della concimazione potassica sull'aroma dei pomodorini, i componenti volatili sono stati distinti in componenti volatili caratteristici [esanale, 2(E)-esenale, 2-isobutiltiazolo],

responsabili dell'odore di pomodoro fresco (16), e componenti volatili contributori, distinti in classi in base ai gruppi funzionali affini come alcoli, composti carbonilici (aldeidi + chetoni), solfuri, derivati fenolici e terpeni.

Nella figura 1 sono riportate le concentrazioni dei componenti volatili caratteristici riscontrate nelle diverse tesi sperimentali a confronto. Nel genotipo Corbarino l'aumento del volume di irrigazione determina, per entrambi i livelli di concimazione potassica, un aumento della concentrazione di tutti e tre i componenti volatili caratteristici; in particolare, per il 2-isobutiltiazolo l'incremento maggiore si registra quando al livello di irrigazione I₁ viene associata la concimazione potassica (200 Kg ha⁻¹).

Nel genotipo Vesuviano, invece, sia l'aumento delle irrigazioni che l'apporto di concime potassico provocano una diminuzione di tutti e tre i componenti volatili caratteristici, ma soprattutto del 2-isobutiltiazolo. I risultati relativi all'effetto peggiorativo della pratica irrigua sono in accordo con quanto evidenziato da Veit-Khöler et al, (25) che riportano una riduzione delle aldeidi a 6 atomi di carbonio [esanale, 3(Z)-esanale e 2(E)-esanale] all'aumentare del regime idrico. In definitiva, la maggiore concentrazione totale di questi componenti volatili si è os-

Tabella 1 - Composizione quali-quantitativa dei componenti volatili identificati nei pomodorini trattati

	Tabella aromi							
	(µg/100g s.s.)							
	I ₁ K ₀ C	I ₂ K ₀ C	I ₁ K ₁ C	I ₂ K ₁ C	I ₁ K ₀ V	I ₂ K ₀ V	I ₁ K ₁ V	I ₂ K ₁ V
3-metil-3-buten-2-one cc	7,16 b A	2,01 a A	9,97 b B	4,51 a B	16,04 a B	14,74 a A	7,96 a A	15,93 b A
1-penten-3-one cc	62,49 a B	89,2 a A	48,935 a A	62,90 b A	62,44 b B	13,60 a B	16,78 b A	7,19 a A
1-penten-3-olo a	92,93 a A	89,09 a A	102,81 a A	194,58 b B	118,02 b B	37,37 a A	46,49 a A	83,75 b B
pentanale cc	68,78 a A	63,56 a B	55,64 b A	1,68 a A	89,66 b B	20,73 a B	31,87 b A	0 a A
2-pentanolo a	0 a A	0 a A	115,48 b B	0 a A	253,92 b B	74,80 a B	0 a A	0 a A
3-metil-1-butanolo a	1187,99 b A	799,73 a A	1245,44 b A	1130,44 a B	1011,95 b B	321,54 a A	289,99 a A	370,37 a A
2-metil-1-butanolo a	134,06 a A	139,25 a A	183,98 a A	214,75 b B	148,76 b B	74,17 a A	73,13 a A	78,25 a A
2(E)-pentenale cc	73,28 a A	67,83 a A	80,43 a A	92,02 b A	84,69 b B	0 a A	26,42 a A	67,51 b B
1-pentanolo a	183,08 a A	172,42 a A	226,92 a A	227,43 a B	206,04 b B	70,16 a A	69,73 a A	81,43 b A
esanale cc	249,075 a A	272,42 a A	246,61 a A	282,59 a A	362,33 b B	154,54 a A	146,915 a A	129,555 b A
2(E)-esenale cc	49,51 a A	62,6 b B	77,775 b B	44,5 a A	176,245 b B	69,3 a A	79,32 b A	50,245 b A
3(Z)-esen-1-olo a	138,895 b B	4,685 a A	16,155 a A	21,955 a A	40,26 b B	9,685 a A	1,045 a A	11,59 b A
1-esanolo a	18,125 a B	10,83 a A	0 a A	32,395 b B	20,455 b B	6,51 a A	0,915 a A	7,2 b A
n-eptanale cc	17,18 a A	17,58 a A	17,815 a A	22,74 a A	35,605 b B	12,11 a A	14,56 a A	12,425 a A
3-(metiltio) propanale s	0 A	0 A	0 a A	95,93 b B	0	0	0	0
dietil disolfuro s	66,25 b A	37,505 a A	114,425 b B	49,6 a A	78,395 b A	30,945 a A	57,55 a A	30,875 a A
benzaldeide cc	40,635 a A	30,58 a A	69,695 a B	49,6 a A	47,49 b A	23,13 a A	38,46 a A	20,535 a A
2(E)-eptenale cc	60,495 a A	62,3 a A	70,55 a A	52,975 a A	79,2 b B	35,94 a A	27,945 a A	41,17 b A
dimetil trisolfuro s	2,495 a A	4,1 a B	5,8 b B	1,605 a A	13,485 b B	5,945 a A	0 a A	5,14 b A
1-otten-3-one cc	0 a A	1,65 b A	9,64 a B	9,145 a B	10,775 a B	7,89 a A	0 a A	4,32 b A
6-metil-5-epten-2-one cc	462,965 a A	671,315 b A	600,45 a B	667,465 a A	1060,27 b B	590,135 a A	468,485 a A	568,795 b A
2(E),4(E)-eptadienale cc	11,29 a A	13,585 a A	14,335 a A	16,9 a A	17,96 b B	9,45 a B	1,03 a A	4,15 b A
6-metil-5-epten-2-olo a	1,075 a A	9,015 b A	16,355 a B	11,285 a A	26,56 b B	9,53 a A	0,815 a A	9,995 b A
2(E),4(Z)-eptadienale cc	0,695 a A	16,69 b A	8,275 a B	19,865 b A	21,075 b A	5,895 a A	1,465 a A	12,065 b B
alcol benzilico a	2506,37 b A	1349,205 a B	1329,405 b A	347,055 a A	1114,895 a A	1100,62 a B	2931,885 b B	496,715 a A
2-isobutiltiazolo de	190,13 a B	265,515 b A	10,935 a A	791,57 b B	828,095 b B	323,195 a B	409,855 b A	37,2 a A
2(E)-ottenale cc	177,875 a A	226,565 b A	249,415 a B	203,04 a A	309,04 b B	103,905 a A	80,355 a A	140,865 b A
2,6-dimetil-5-eptenale cc	2,015 a B	2,775 a A	0 a A	15,395 b B	1,995 a A	29,45 b B	28,26 b B	4,62 a A
2-metossifenolo df	60,085 a A	113,435 b A	97,48 a A	103,905 a A	121,06 a B	89,41 a A	0,605 a A	60,72 b A
6-metil-3,5-eptadien-2-one cc	31,66 a A	49,775 a A	49,11 a A	65,81 a A	102,355 b B	53,435 a A	40,295 a A	42,365 a A
alcol fenilico a	214,73 b A	130,99 a A	369,92 a B	387,255 a B	210,475 a B	208,025 a B	0 a A	62,205 b A
2(E)-nonenale cc	46,9 a A	62,665 a A	62,485 a A	65,795 a A	90,15 a B	61,38 a A	40,22 a A	47,08 a A
metilsalicilato df	202,96 a A	319,375 b A	204,495 a A	248,93 a B	161,73 a A	170,735 a B	207,925 b A	85,78 a A
2,3-epossigeraniale t	50,55 a A	100,59 b A	77,7 a A	77,845 a A	163,03 b B	90,71 a A	70,99 a A	71,145 a A
nerale t	62,075 a A	89,89 a A	87,45 a A	88,755 a A	148,96 b B	80,985 a A	61,04 a A	73,7 a A
geraniale t	109,105 a A	208,765 b B	177,42 a A	151,89 a A	340,515 b B	194,81 a A	152,62 a A	140,59 a A
2(E),4(E)-decadienale cc	127,38 a A	121,955 a A	166,6 b A	109,84 a A	158,17 b B	90,825 a A	76,05 a A	62,655 a A

(continua)

Tabella 1 - continua

	Tabella aromi							
	(µg/100g s.s.)							
	I ₁ K ₀ C	I ₂ K ₀ C	I ₁ K ₁ C	I ₂ K ₁ C	I ₁ K ₀ V	I ₂ K ₀ V	I ₁ K ₁ V	I ₂ K ₁ V
2(E),4(Z)-decadienale cc	115,605 a A	126,765 a A	176,355 a A	136,97 a A	136,255 a B	83,57 a A	66,605 a A	0,585 a A
eugenolo df	49,32 b A	0 a A	47,96 a A	67,625 a B	54,56 b A	29,15 a B	29,58 b A	0 a A
β-damascenone t	61,66 a A	57,555 a A	80,175 a A	78,315 a A	111,885 a B	73,29 a A	43,3 a A	58,795 a A
neril acetone t	77,93 a A	85,335 a A	100,84 a A	90,43 a A	108,265 a B	82,385 a B	50,6 a A	49,06 a A
β-(Z)-ionone t	2,015 a A	7,895 b A	14,44 a B	16,485 a B	22,52 b B	9,475 a A	1,605 a A	10,03 b A
β-(E)-ionone t	36,83 a A	39,605 a A	38,93 a A	38,475 a A	44,79 a B	30,46 a A	21,635 a A	20,905 a A
(E,E)-pseudoionone t	34,76 a A	51,73 a A	47,13 a A	55,225 a A	86,845 a A	55,575 a A	207,655 b B	35,395 a A

cc = composti carbonilici, a = alcoli, s = solfuri, df = derivati fenolici, t = terpeni, de = derivato eterociclico, C = Corbarino, V = Vesuviano

A lettere differenti corrispondono differenze statisticamente significative (p ≤ 0,05)

Le lettere minuscole riguardano l'analisi statistica, nell'ambito dello stesso genotipo, mantenendo come variabile fissa la concimazione potassica, mentre le maiuscole l'irrigazione

servata con il più elevato apporto dei fattori produttivi sperimentati (irrigazione e concimazione potassica) nel genotipo Corbarino e, viceversa, con quello più basso nel genotipo Vesuviano.

Con riguardo alle sostanze volatili contributrici (Fig. 2), nelle bacche di Corbarino aumentando l'irrigazione, in presenza o meno di concimazione potassica, diminuisce sensibilmente il contenuto di alcoli, mentre, la concentrazione di composti carbonilici e di terpeni tende ad aumentare con l'irrigazione, ma solo in assenza di concimazione potassica, che sembra, invece, favorire la sintesi di solfuri.

Nel genotipo Vesuviano, indipendentemente dal livello di concimazione potassica, la riduzione dell'irrigazione ha favorito un maggiore accumulo, nei frutti, di quasi

Figura 1 - Contenuto in sostanze volatili caratteristiche dell'aroma nelle 8 tesi di pomodoro Corbarino e Vesuviano coltivate con diverse tecniche agronomiche. A lettere differenti corrispondono differenze statisticamente significative (p≤0,05). Le lettere maiuscole sono relative all'analisi statistica fatta nell'ambito dello stesso genotipo; quelle minuscole riguardano l'analisi statistica nell'ambito dello stesso genotipo rispetto ad una stessa variabile agronomica

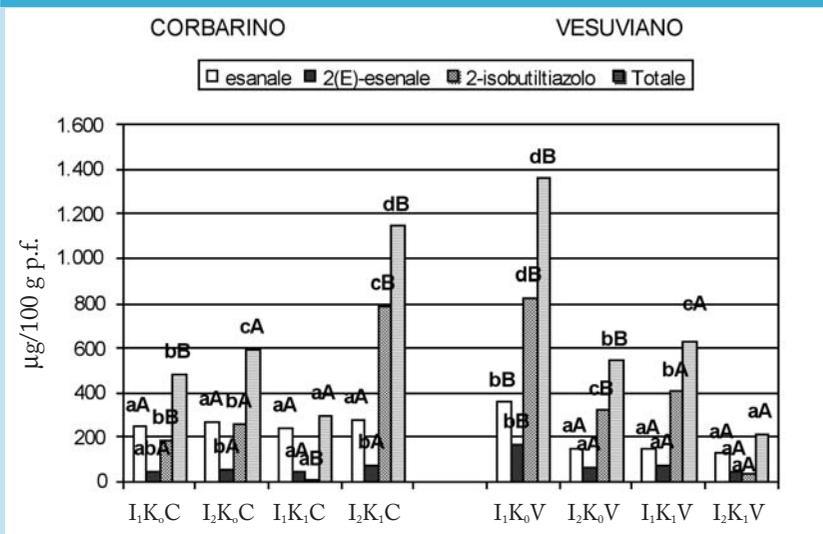
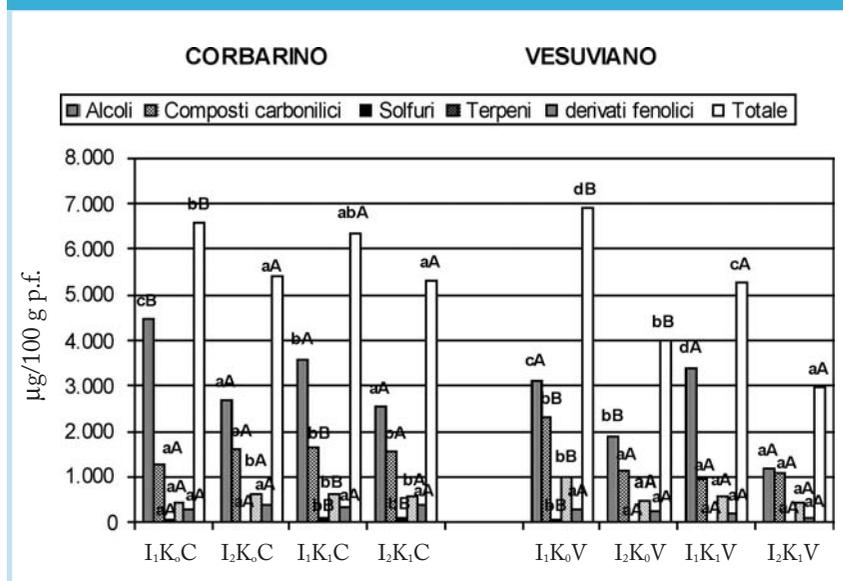


Figura 2 - Contenuto in sostanze contributrici dell'aroma nelle 8 tesi di pomodorino Corbarino e Vesuviano coltivate con diverse tecniche agronomiche. A lettere differenti corrispondono differenze statisticamente significative ($p \leq 0,05$). Le lettere maiuscole sono relative all'analisi statistica fatta nell'ambito dello stesso genotipo; quelle minuscole riguardano l'analisi statistica nell'ambito dello stesso genotipo rispetto ad una stessa variabile agronomica



tutte le classi dei composti volatili contributori, in particolare degli alcoli. La concimazione potassica ha determinato una riduzione pressoché generalizzata della concentrazione di tutte le suddette componenti volatili, maggiormente evidente in presenza di irrigazioni più abbondanti, tranne il contenuto di composti carbonilici.

In definitiva, nel genotipo Corbarino, l'aumento dell'irrigazione sembra favorire la sintesi di tutte le sostanze volatili caratteristiche, ma con una diminuzione della concentrazione di quelle contribu-

trici (soprattutto degli alcoli), mentre la concimazione potassica, quando associata ad un aumento del livello irriguo, pare determinare un maggiore accumulo, nei frutti, di sostanze volatili caratteristiche (soprattutto del 2-isobutiltiazolo).

Nel genotipo Vesuviano, l'irrigazione sembra inibire la sintesi di tutti i composti volatili, sia caratteristici che contributori, mentre la concimazione potassica pare influire negativamente sulla qualità aromatica delle bacche principalmente attraverso una riduzione

delle componenti caratteristiche dell'aroma.

Nella tabella 2 vengono riportati i dati relativi ad alcuni parametri chimico-fisici in funzione dell'irrigazione e della fertilizzazione.

Riguardo al contenuto di sostanza secca dei frutti, nel genotipo Corbarino esso non è risultato statisticamente influenzato da nessuna delle variabili agronomiche in prova, mentre nel Vesuviano si è osservata una sua riduzione al crescere dell'apporto irriguo (22, 26). Il pH, per entrambi i genotipi, non è variato significativamente né con l'irrigazione né con la concimazione potassica, in accordo con quanto già osservato da Colelli et al. (26) e da Ghebbi Si-smail et al. (8).

Riguardo agli zuccheri semplici, solo per il contenuto di glucosio, e limitatamente al Vesuviano, si è osservato un effetto dell'irrigazione analogo a quello descritto in precedenza per il residuo secco e già evidenziato da altre sperimentazioni (22, 27).

Quanto ai principali acidi, il contenuto di acido citrico, per entrambi i genotipi, non risulta influenzato dalla concimazione potassica, in accordo con quanto già evidenziato da Lachover (9). Riguardo invece all'effetto dell'irrigazione, si registra, solo nel genotipo Vesuviano (per il livello più elevato di fertilizzazione), un incremento di detto acido al diminuire del livello irriguo, in linea

Tabella 2 - Effetti dell'irrigazione e della concimazione potassica su alcuni parametri chimico-fisici dei due genotipi di pomodoro. A lettere differenti corrispondono differenze statisticamente significative ($p \leq 0,05$)

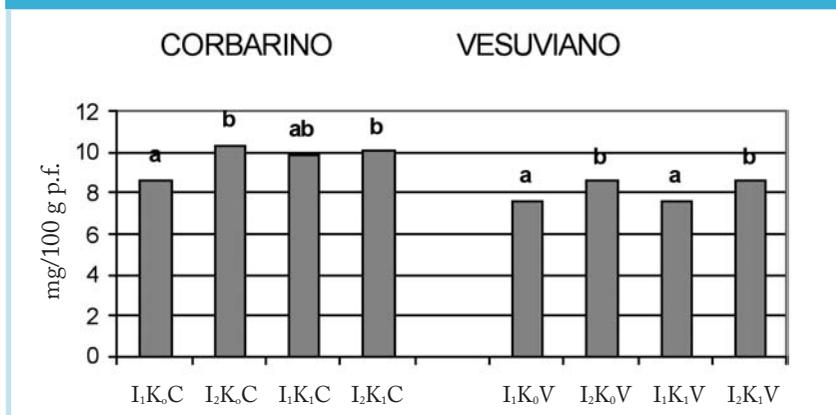
Campioni	s.s.%	pH	Parametri chimico-fisici				
			Glucosio (g/100 g p.f.)	Fruttosio (g/100 g p.f.)	Ac.Ossalico (mg/100 g p.f.)	Ac.Citrico (mg/100 g p.f.)	Ac.Malico (mg/100 g p.f.)
I ₁ K ₀ C	10.92 a	3.92 a	3.17 a	2.67 a	2.06 a	477.95 a	154.66 b
I ₂ K ₀ C	10.12 a	4.10 a	3.15 a	2.73 a	2.02 a	474.22 a	123.84 a
I ₁ K ₁ C	10.88 a	4.24 a	2.92 a	2.66 a	2.08 a	487.13 a	138.76 b
I ₂ K ₁ C	10.49 a	4.31 a	3.18 a	2.88 a	2.01 a	495.12 a	118.17 a
I ₁ K ₀ V	11.05 b	3.93 a	3.23 b	2.87 a	1.71 a	457.92 a	162.46 b
I ₂ K ₀ V	10.00 a	3.97 a	2.79 a	2.65 a	1.73 a	467.83 a	136.45 a
I ₁ K ₁ V	11.38 b	3.82 a	3.08 b	2.77 a	1.74 a	582.81 b	178.07 b
I ₂ K ₁ V	10.56 a	4.11 a	2.78 a	2.54 a	1.74 a	553.84 a	155.70 a

con i risultati riportati da Mitchell et al. (27). Con riferimento all'acido malico, invece, per entrambi i genotipi, si registra un incremento significativo del contenuto di detto acido solo in funzione dell'irrigazione.

Riguardo alla qualità nutraceutica dei frutti esaminati, nella figura 3 sono illustrati i dati relativi al contenuto di licopene, risultato significativamente maggiore, per entrambi i genotipi, nelle tesi irrigate e quasi per niente influenzato dall'apporto di concime potassico.

La scarsa risposta della coltura alla concimazione potassica, in termini di sintesi del licopene, anche se in disaccordo con altri autori (10-13), trova spiegazione, verosimilmente, nell'elevata dotazione naturale in potassio del terreno che

Figura 3 - Effetti dell'irrigazione e della concimazione potassica sul contenuto in licopene totale dei due genotipi di pomodoro. A lettere differenti corrispondono differenze statisticamente significative ($p \leq 0,05$)



ha ospitato la prova. Questa ipotesi troverebbe conferma anche nei risultati citati in letteratura da Pannagiotopoulos e Fordham (28) e da Dumas et al. (14), i quali hanno riportato che effetti significati-

vi di apporti di potassio sulle concentrazioni di licopene nei frutti sono stati evidenziati da diverse ricerche solo per dosi di concime decisamente elevate, non compatibili, tra l'altro, con i moderni indi-

rizzi agronomici di riduzione degli input colturali. Ancora più recentemente, Taber et al. (29) hanno riscontrato che la risposta ad alte dosi dell'elemento fertilizzante è cultivar-dipendente.

Conclusioni

I risultati della presente ricerca evidenziano che nel pomodoro gli effetti delle tecniche colturali sui parametri biochimici dipendono anche dal genotipo. Essi sono più marcati sulle sostanze volatili (in particolare sui componenti volatili caratteristici responsabili dell'odore di pomodoro fresco) e sugli altri parametri che definiscono la qualità alimentare.

Quanto alla risposta differenziata dei genotipi, per il Vesuviano, le caratteristiche aromatiche vengono esaltate nelle coltivazioni sottoposte a interventi irrigui ridotti (come normalmente avviene nelle coltivazioni tradizionali "in seccagna" lungo le pendici del Vesuvio) e sfruttando le sole dotazioni pedologiche naturali di potassio. Nel Corbarino, invece, i migliori risultati qualitativi, in termini di contenuto di sostanze volatili, vengono ottenuti supportando la coltivazione con un adeguato apporto irriguo e una buona concimazione potassica.

La qualità nutraceutica, rappresentata nel pomodoro soprattutto

dal licopene, dotato di attività anticancerogena nei confronti di numerose neoplasie che interessano il tessuto epiteliale e prostatico umano, viene incrementata più dall'irrigazione che dalla fertilizzazione potassica. Questo comportamento, a differenza delle sostanze volatili, risulta comune ai due genotipi, con una leggera prevalenza evidente nel Vesuviano.

Bibliografia

- Dumas Y, Leoni C, Portas CAM, Bièche B. Influence of water and nitrogen availability on yield and quality of processing tomato in the European Union Countries. *Acta Hort* 1994; 376: 185-92.
- Branthôme X, Plè Y, Machado JR. Influence of drip-irrigation on the technological characterisation of processing tomatoes. *Acta Hort* 1994; 376: 285-90.
- Colla G, Casa R, Lo Cascio B, Saccardo F, Temperini O, Leoni C. Responses of processing tomato to water regime and fertilization in Central Italy. *Acta Hort* 1999; 487: 531-6.
- Colla G, Battistelli A, Moscatello S. Effect of reduced irrigation and nitrogen fertirrigation rate on yield, carbohydrate accumulation, and quality of processing tomatoes. *Acta Hort* 2001; 542: 187-96.
- Dorais M, Papadopoulos AP, Gosselin A. Greenhouse tomato fruit quality: the influence of environmental and cultural factors. *Hortic Rev* 2001; 26: 239-319
- Dorais M, Ehret DL, Papadopoulos AP. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochem Rev* 2008; 7: 231-50.
- Wuzhong N. Yield and quality of fruits of solanaceous crops as affected by potassium fertilization. *Better Crops International* 2002; 16 (1): 6-8.
- Ghebibi Si-smail K, Bellal M, Halladj F. Effect of potassium supply on the behaviour of two processing tomato cultivars and on the changes of fruit technological characteristics. *Acta Hort* 2007; 758: 269-74.
- Lachover D. The effect of potassium on a "Roma" variety of processing tomato, with special reference to potassium uptake, yield and quality. *Plant Food for Human Nutrition* 2005; 21 (3): 165-77.
- Trudel MJ, Ozburn JL. Relationship between chlorophyll and carotenoids of ripening tomato fruits as influenced by K nutrition. *J Exp Bot* 1970; 21: 881-6.
- Trudel MJ, Ozburn JL. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. *J Am Soc Hort Sci* 1971; 96: 763-5.
- Oded A, Uzi K. Enhanced performance of processing tomatoes by potassium nitrate based nutrition. *Acta Hort* 2003; 613: 81-7.
- Serio F, Leo L, Parente A, Santamaria P. Potassium nutrition increases the lycopene content of tomato fruit. *J Hort Sci Biotechnol* 2007; 82 (6): 941-5.
- Dumas Y, Dadomo M, Di Lucca G, Grolier P. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J Sci Food Agric* 2003; 83: 369-82.
- Imas P. Quality aspects of K nutrition in horticultural crops. Workshop on: Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops. 11-12 February 1999, Dapoli Maha.
- Di Cesare LF, Forni E, Viscardi D, Ferrari V. Valutazione della composizione aromatica e chimico-fisica di alcune cultivar di pomodoro da impiegare per il consumo diretto o per la trasformazione. *Industria Conserve* 2003; 78: 195-206.

17. Baldwin EA, Nisperos-Carriedo MO, Moshonas MG. Quantitative analysis of flavor and other volatiles and for certain constituents of two tomato cultivars during ripening. *J Amer Soc Hort Sci* 1991; 116: 265.
18. Davies JN, Hobson GE. The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition and genotype. *Crit Rev Food Sci Technol* 1981; 15: 205-80.
19. Gerster H. The potential role of lycopene for human health. *J Am Coll Nut* 1997; 16: 109-26.
20. Giovannucci E, Acherio A, Rimm EB, Stamfer MJ, Colditz GA, Willet WC. Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *J Natl Cancer Inst* 1995; 87 (23): 1767-76.
21. Boileau TWM, Boileau AC, Erdman JWjr. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. *Exp Biol Med* 2002; 227: 914-9.
22. Parisi M, Pentangelo A, D'Onofrio B, Villari G, Giordano I. Studi su ecotipi campani di pomodoro "Corbarino" e "Vesuviano" in due ambienti. *Italus Hortus* 2006; 13 (2): 775-8.
23. Pernice R, Graziani G, Mari A. Studio della componente antiossidante in "pomodoro da piennolo". *Italus Hortus* 2004; 11 (1): 184-6.
24. Giordano I, Pentangelo A, Villari G, Fasanaro G, Castaldo D. Caratteristiche bio-agronomiche e idoneità alla trasformazione di pomodori dell'ecotipo "Corbarino". *Industria Conserve* 2000; 75: 317-29.
25. Veit-Köhler U, Krumbein A, Kosegarten H. Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 1999; 162 (6): 583-8.
26. Colelli G, Elia A, Santamaria P. Influenza dell'ambiente di coltivazione e dell'irrigazione sulla conservabilità del pomodoro da serbo. *Atti II Giornate Scientifiche S.O.I.* 1994; 479-80.
27. Mitchell JP, Shennan C, Grattan SR, May DM. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J Am Soc Hortic Scie* 1991; 116 (2): 215-21.
28. Panagiotopoulos LJ, Fordham R. Effects of water stress and potassium fertilisation on yield and quality (flavour) of table tomatoes *Lycopersicon esculentum*. *Acta Hort* 1995; 379: 113-20.
29. Taber H, Perkins-Veazie P, Shanshan L, White W, Rodermeil S, Yang X. Enhancement of tomato fruit lycopene by potassium is cultivar dependent. *HortScience* 2008; 43 (1): 159-65.