مقاله پژوهشی DOI: 10.22034/ijon.2023.701678

پراکنش نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی (*Globodera rostochiensis*) در استان همدان و مروری بر وضعیت آن در ایران

مزدشت گیتی، ابراهیم پورجم✉ و مجید پدرام
گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
✉پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: pourjame@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰ پذیرش علمی: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳ انتشار در سامانه: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

چکیده

سیب‌زمینی با سطح زیرکشت بیش از ۱۵۲،۰۰۰ هکتار و تولید بیش از پنج میلیون تن در سال، یکی از گیاهان زراعی مهم کشور می‌باشد که صادرات محصول آن توانسته است سهم مهمی در اقتصاد ملی داشته باشد. به منظور بررسی وجود نماتدهای سیستی سیب‌زمینی، طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰، تعداد ۸۵۰ نمونه خاک و گیاه از مزارع سیب‌زمینی در استان همدان و استان‌های مجاور همدان شامل کردستان، زنجان، قزوین، مرکزی، لرستان و کرمانشاه، با تاکید بر مناطق کشت‌شده توسط سیب‌زمینی‌کاران اجاره‌کار همدانی، جمع‌آوری شد. بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی و مولکولی، گونه *Globodera rostochiensis* به عنوان تنها گونه نماتد سیستی سیب‌زمینی موجود در کشور، در استان همدان و یک نقطه در استان کردستان تشخیص داده شد. در استان همدان، ۶۳/۸ درصد مزارع سیب‌زمینی کشت بهاره (۸۹۳۲ هکتار) آلوده به نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی بود. از سایر مناطق سیب‌زمینی‌کاری استان همدان و استان‌های نمونه‌برداری‌شده، نماتد سیستی سیب‌زمینی به دست نیآمد. در شهر دیزج استان کردستان، در یک مزرعه با مساحت ۳۵ هکتار، تعداد سه لکه‌ی آلوده به نماتد مشاهده و سیست‌های این نماتد استخراج و شناسایی گردید. به نظر می‌رسد نماتد در حال گسترش به سایر مناطق سیب‌زمینی‌کاری کشور است. در صورت ادامه‌ی این روند، مهار این نماتد مشکل و پرهزینه بوده و وجود آن در محموله‌های صادراتی مانع مهمی برای صادرات سیب‌زمینی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: شهرستان بهار، شهرستان دیزج، قرنطینه، نماتد سیستی سیب‌زمینی

Distribution of potato golden cyst nematode (*Globodera rostochiensis*) in Hamedan province and its status in Iran

Mazdosht Gitti, Ebrahim Pourjam✉, Majid Pedram
Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
✉corresponding author E-mail: pourjame@modares.ac.ir
(ORCID ID: 0000-0003-3665-1692)✉
(M.Gitti ORCID ID: 0000-0002-0105-3177)
(M. Pedram ORCID ID: 0000-0001-7640-507X)

Received: 2022/08/21 Revised: 2022/12/24 Accepted: 2023/02/08

Abstract

Potato with a cultivated area of more than 152,000 hectares and a production of more than five million tons per year, is one of the most important crops in Iran, and the export of its product is able to make a significant contribution to the national economy. In a survey to monitor the presence of potato cyst nematodes (PCNs), 850 soil and plant samples were collected in 2018-2019 from potato fields in Hamedan province and neighboring provinces including Kordestan, Zanjan, Qazvin, Markazi, Lorestan and Kermanshah, focusing on the areas cultivated by potato farmers of Hamedan province. Based on the morphological and molecular characteristics, *Globodera rostochiensis* was identified as the only PCN species in the country in Hamedan province and a single site in Kordestan province as well. In Hamedan province, 63.8% of potato spring planting fields (8932 hectares) was found infested with the potato golden cyst nematode. The PCN was not found from other potato growing areas in Hamedan province and in the sampled provinces. In the city of Dizaj in Kordestan province, three sites infested with the nematode were observed in a field with an area of 35 hectares and the cysts were extracted and identified. The nematode appears is being disseminated into other potato growing areas in the country. If this trend continues, control of this nematode will be difficult and costly, and its presence in export shipments will be an important obstacle to potato exports from Iran.

Key words: Bahar city, Dizaj city, potato cyst nematode, quarantine

How to cite: Mazdosht, G., Pourjam, E. & Pedram, M. 2022. Distribution of potato golden cyst nematode (*Globodera rostochiensis*) in Hamedan province and its status in Iran. Iranian Journal of Nematology 1(1), 128-138.

مقدمه

بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO)، سیب‌زمینی بعد از گندم، برنج و ذرت، با سطح زیر کشت حدود ۱۸ میلیون هکتار، چهارمین محصول زراعی دنیا است و کشور چین با داشتن پنج میلیون هکتار بیشترین سطح زیر کشت را دارد. در ایران سیب‌زمینی با سطح زیر کشت معادل ۱۵۲،۸۰۲ هکتار و تولید ۵،۶۳۶،۵۰۷ تن از محصولات مهم بوده و ایران مقام سیزدهم جهان و مقام سوم در تولید سیب‌زمینی در آسیا را به خود اختصاص داده است (FAOSTAT 2018). استان‌های اردبیل، فارس، زنجان، کرمان و همدان مناطق عمده کشت سیب‌زمینی در کشور هستند (Ahmadi *et al.* 2018). استان همدان با داشتن ۱۶/۵درصد سطح زیر کشت و ۲۰ درصد از تولید سیب‌زمینی کشور با میانگین عملکرد ۴۰ تن در هکتار، مقام اول کشور را در این زمینه دارد (Ahmadi *et al.* 2018).

تا کنون بیش از ۴۱۰۰ گونه نماتد انگل گیاهی شناسایی و معرفی شده‌اند که سالیانه در حدود ۸۰ میلیارد دلار به کشاورزی دنیا خسارت می‌زنند (Nicol *et al.* 2010). در مطالعه‌ای دیگر، میزان خسارت سالیانه نماتدهای انگل گیاهی به محصولات کشاورزی معادل ۱۲/۵ درصد یا حدود ۱۵۷ میلیارد دلار آمریکا برآورد شده است (Hassan *et al.* 2013).

جنس *Globodera* دارای دو گونه مهم و اقتصادی به نام‌های *G. pallida* (Stone, 1973) Behrens, 1975 (نماتد سیستی سفید سیب‌زمینی) و *G. rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959 (نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی، سیستی زرد سیب‌زمینی یا نماتد طلایی) است که به عنوان مخرب‌ترین و خسارت‌زاترین عوامل بیمارگر سیب‌زمینی در دنیا محسوب می‌شوند. این دو گونه می‌توانند تا ۱۰۰ درصد باعث خسارت شوند. نماتد سیستی طلایی از مناطق سیب‌زمینی‌کاری ۸۳ کشور دنیا و نماتد سیستی سفید از ۴۹ کشور دنیا گزارش شده است (EPPO 2022). گونه *G. rostochiensis* که قبلاً نماتد قرنطینه‌ای ایران بود، در سال ۱۳۸۷ در تعدادی از مزارع شهرستان بهار استان همدان مشاهده و گزارش گردید (Gitti & Tanha Maafi 2010).

حد آستانه خسارت اقتصادی ناشی از نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی کمتر از ۲۰ تخم در گرم خاک است. با توجه به زیست‌شناسی، به ویژه توان بقاء در شرایط سخت مانند خشکی، آیش و یا حتی تناوب محصولات، در صورت انتشار آلودگی به مناطق غیرآلوده، امکان ریشه‌کنی این نماتد عملاً وجود نخواهد داشت و علاوه بر خسارت‌های مستقیم ناشی از کاهش محصول، هزینه‌های ناشی از مهار و نیز آلودگی محیط زیست را در پی خواهد داشت (Evans & Stone 1977).

نماتدهای سیستی سیب‌زمینی از نظر بیماری‌زایی دارای تنوع ژنتیکی و پاتوتیپ هستند. در سال ۱۹۷۷ کورت و همکاران الگویی برای نام‌گذاری پاتوتیپ‌های جمعیت‌های اروپایی دو گونه نماتد سیستی پیشنهاد دادند. بر این اساس، گونه *G. rostochiensis* دارای پنج پاتوتیپ (Ro1-Ro5) و گونه *G. pallida* دارای سه پاتوتیپ (Pa1-Pa2) است (Kort *et al.* 1977). Ro1 مهم‌ترین پاتوتیپ *G. rostochiensis* است که در چندین گونه از سیب‌زمینی مقاومت نسبت به آن شناخته شده است (Ellenby 1954). در مطالعات دیگر در حوزه آمریکای لاتین، در میان جمعیت‌های آمریکایی این دو گونه، به ترتیب چهار و هفت پاتوتیپ شناسایی شده است (Canto-Saenz & Bakker *et al.* 2004; Scurrah 1977). اخیراً بوچر و همکاران (Boucher *et al.* 2013)، از نشانگر میکروستلایت برای تعیین تنوع ژنتیکی جمعیت‌های *G. rostochiensis* که از نقاط مختلف دنیا از جمله آمریکای جنوبی و کانادا جمع‌آوری شده بود، استفاده کردند و تا حدودی توانستند تفاوت‌های این جمعیت‌ها را از نظر ژنتیکی مشخص کنند. با وجود مطالعات گسترده صورت گرفته، ظاهراً هنوز چالش‌های نسبی برای تفکیک دقیق و قابل اطمینان گونه‌ها، به‌ویژه ژنوتیپ‌های نماتدهای سیستی سیب‌زمینی هم‌چنان پابرجا است. پاتوتیپ شماره یک (Ro1) *G. rostochiensis* غالب‌ترین پاتوتیپ است که در اکثر کشورهای اروپایی و آمریکای جنوبی و نیز ایران گسترش دارد (Rahbari *et al.* 2017; EFSA Panel on Plant Health 2012). با توجه به اهمیت و خسارت نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی، تحقیقات زیادی روی این نماتد صورت گرفته است. کاماکو و همکاران (Camacho *et al.* 2017) با روش‌های ریخت‌شناختی و مولکولی گونه‌های *G. rostochiensis* و *G. pallida* را در پرتغال بررسی و شناسایی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در پرتغال تعداد مزارع آلوده به *G. pallida* بیش از مزارع آلوده به *G. rostochiensis* است و این مشاهده با آنچه در سایر کشورها گزارش شده مغایرت دارد.

از جمله مطالعاتی که در خصوص شناسایی مولکولی گونه‌های نماتد سیستی سیب‌زمینی انجام شده است می‌توان به مطالعه فولاندو و همکاران (Fullaondo *et al.* 1999) اشاره کرد که طی آن از فنآوری RAPD برای شناسایی گونه‌های *Globodera* استفاده شده است. برای شناسایی و بازسازی

روابط تبارزایی بین دو گونه و جمعیت‌های کانادایی نماتدهای سیستی سیب‌زمینی، از ژن سیتوکروم بی میتوکندریایی (*cytb*) و ناحیه‌ی ITS1-5.8S-ITS2 ژن RNA ریبوزومی استفاده شده است (Madani *et al*. 2010).

طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ پراکنش جغرافیایی لکه‌های آلوده به *G. pallida* به منظور ارزیابی خطر ورود نماتد به مناطق جدید با روش تحلیل درون‌یابی جمعیت بررسی گردید. بر اساس نتایج آن، مشخص شد که گسترش نماتد از یک مزرعه به مزرعه‌ی مجاور از یک الگوی بیضی‌شکل تبعیت نموده و توسط خاک همراه با ابزار و ماشین‌آلات کشاورزی به آرامی به سمت مزارع مجاور پیش می‌رود (Contina *et al*. 2018).

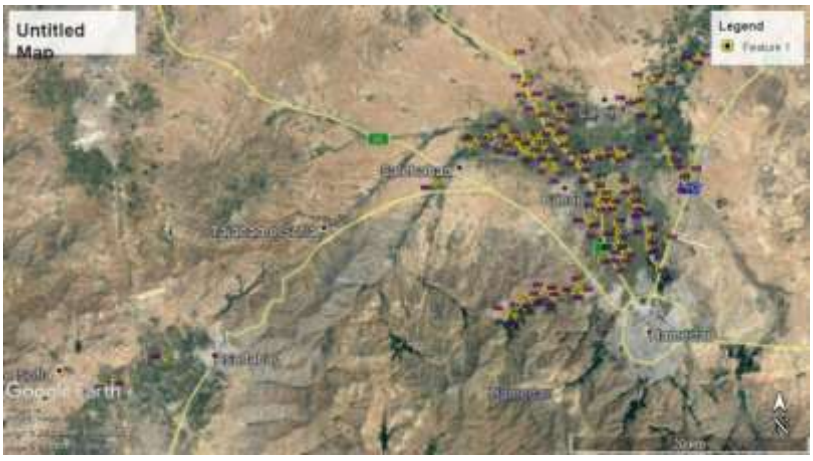
گیتی و همکاران (Gitti *et al*. 2011) مناطق انتشار نماتد سیستی طلایی در استان همدان را بررسی کردند و با توجه به مشخصات ریخت‌شناختی و ریخت‌سنجی سیست‌ها و لاروهای سن دو در نمونه‌های آلوده و شناسایی مولکولی با استفاده از پرایمرهای اختصاصی، فقط وجود گونه‌ی *G. rostochiensis* را تایید کردند. با توجه به نتایج این تحقیق، به استثنای استان همدان در هیچ‌یک از مناطق سیب‌زمینی‌کاری کشور نماتد سیستی طلایی شناسایی نشد. هم‌چنین آلودگی به گونه *G. pallida* نیز مشاهده نگردید. بر اساس این پژوهش، ۴۶ درصد از مزارع سیب‌زمینی شهرستان بهار و ۲۸/۸ درصد مزارع شهرستان همدان آلوده به نماتد سیستی طلایی بود. در ادامه مطالعات بر روی نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی، پاتوتیپ و خصوصیات مولکولی تعداد معدودی از جمعیت‌های نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی در ایران بررسی گردید و Ro1 به عنوان پاتوتیپ شایع در این منطقه تشخیص داده شد (Rahbari *et al*. 2017).

با توجه به خسارت بالای نماتد سیستی طلایی به محصول سیب‌زمینی، مشکل و گران بودن مهار آن، بقای طولانی مدت نماتد در شرایط نامناسب و عدم امکان ریشه‌کنی آن در صورت انتشار آلودگی به سایر نقاط کشور، این مطالعه با هدف پایش و کسب اطلاع سالانه از وضعیت و میزان گسترش بیماری در کانون آلودگی و استان‌های مجاور صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

به منظور تعیین تراکم جمعیت نماتد سیستی طلایی، نمونه‌برداری از خاک مزارع سیب‌زمینی کشت بهاره استان همدان پس از برداشت سیب‌زمینی در پاییز انجام و تعداد ۳۷۸ نمونه خاک جمع‌آوری گردید. در مناطق کشت تابستانه و پاییزه استان همدان، شامل شهرستان‌های اسدآباد، نهاوند، تویسرکان، کبودرآهنگ، فامنین و رزن، که قبلا گزارشی از نماتد نداشته‌اند، با توجه به سطح زیر کشت سیب‌زمینی هر شهرستان و پراکندگی مزارع، نمونه‌برداری طی بهار و تابستان سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ انجام شد. به این منظور بازدید از مزارع انجام و از هر چندین هکتار یک نمونه‌ی خاک تهیه گردید. در زمان نمونه‌برداری با جی‌پی‌اس مختصات جغرافیایی مزرعه ثبت و محل هر نمونه در نقشه‌ی استان مشخص گردید (شکل ۱). علاوه بر آن، با تماس با کلینیک‌های گیاه‌پزشکی و مدیریت حفظ نباتات و اطلاع از وجود مزارع مشکوک و دارای علائم کمی رشد و زردی، نمونه‌برداری اختصاصی از آن مزارع نیز انجام شد. از این مناطق استان همدان، تعداد ۲۳۲ نمونه جمع‌آوری گردید.



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای نقاط نمونه‌برداری‌شده از مزارع سیب‌زمینی استان همدان.

Fig. 1. Satellite view of sampled sites from potato fields in Hamedan province.

در مناطق مجاور استان همدان، شامل استان زنجان، شهرهای زرینه‌رود، قیدار، سجاس و سلطانیه نیز تعداد ۴۸ نمونه، استان قزوین، شهرهای آبگرم، آوج و خرمدشت ۱۲ نمونه، استان کردستان، شهرهای دیزج، قروه و دهگلان ۵۹ نمونه، استان کرمانشاه، شهرهای کنگاور، سنقر، ماهیدشت، روانسر ۳۳ نمونه، استان لرستان، شهرهای خرم‌آباد، بروجرد، الیگودرز، ازنا، الشتر و نورآباد تعداد۶۰ نمونه و استان مرکزی، شهرهای شازند و خنداب ۲۸ نمونه جمع‌آوری گردید. نمونه‌برداری و بررسی مزارع خصوصا در مزارعی که به صورت اجاره‌ای توسط کشاورزان همدانی کشت می‌گردید، صورت گرفت. علاوه بر آن از مناطق مشکوک (بر اساس اطلاعات کسب شده از مدیریت حفظ نباتات و کلنیک‌های گیاه‌پزشکی محل) نمونه‌برداری انجام شد.

استخراج و تثبیت نماتدها

جهت استخراج لاروهای زنده از روش الک و سانتریفیوژ (Jenkins 1964) استفاده شد. کشتن، تثبیت و انتقال نماتدها به گلیسیرین با روش دگریسه (De Grisse 1969) انجام شد. پس از تهیه اسلایدهای دائمی میکروسکپی، بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی و ریخت‌سنجی نماتدها با استفاده از میکروسکوپ دو چشمی Nikon Eclips E600 مجهز به لوله ترسیم صورت گرفت.

تراکم جمعیت نماتد سیستی سیب‌زمینی شامل تعداد سیست و تعداد تخم و لارو سن دو درون سیست در همه نمونه‌های جمع‌آوری شده تعیین (Abidou *et al*. 2005) و بر اساس الگوی ارائه شده توسط احمدی و تنهامعافی (Ahmadi & Tanha Maafi 2014) دسته‌بندی و ارزشیابی گردید. بر این اساس، عدم آلودگی برای تعداد صفر تخم و یا لارو سن دو، آلودگی کم برای میانگین جمعیت کمتر از ۴۰۰، آلودگی متوسط برای جمعیت ۴۰۱-۱۰۰۰، آلودگی بالا برای ۱۰۰۱-۲۰۰۰ و آلودگی خیلی بالا برای ۲۰۰۱ تخم و یا لارو در ۲۰۰ گرم خاک در نظر گرفته شد. برای جداسازی سیست، مقدار ۲۰۰ گرم از خاک خشک هر نمونه با استفاده از طشت و الک‌های ۳۰ و ۶۰ مش خاکشویی شد و کل سیست‌های جمع شده روی الک ۶۰ جمع‌آوری و شمارش گردید، سپس تعداد ۱۰ سیست از هر نمونه همراه یک میلی‌لیتر آب مقطر در دستگاه سیست خردکن ریخته و بعد از خردکردن سیست‌ها، تعداد تخم و لارو موجود در هر سیست با استفاده از اسلاید شمارش، تعیین و با پنج تکرار برای هر نمونه میانگین‌گیری شد. در نهایت نقشه پراکندگی نماتد سیستی سیب‌زمینی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS version 9.3 ترسیم گردید (شکل ۳).

استخراج DNA و انجام واکنش زنجیره‌ای پلیمراز(PCR)

استخراج DNA از تک سیست بر اساس روش تنهامعافی و همکاران (Tanha Maafi *et al*. 2003) انجام شد. واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز (PCR) با استفاده از پرایمرهای اختصاصی گونه‌های *G. rstochiensis* و *G. pallida* شامل RoF: 5'-GCAAGCCCAGCGTCAGCAAC-3'، RoR: 5'-GAACATCAACCTCCTATCGG-3'، PaF: 5'-TGTCCATTCCTCTCCACCAG-3' و PaR: 5'-CCGCTTCCCCATTGCTTTCG-3' انجام گرفت (Fullaondo *et al*. 1999). سپس قطعه DNA تکثیرشده روی ژل ۱/۵ درصد آگـارز با استفاده از اتیدیوم بروماید رنگ آمیزی و مشاهده شد.

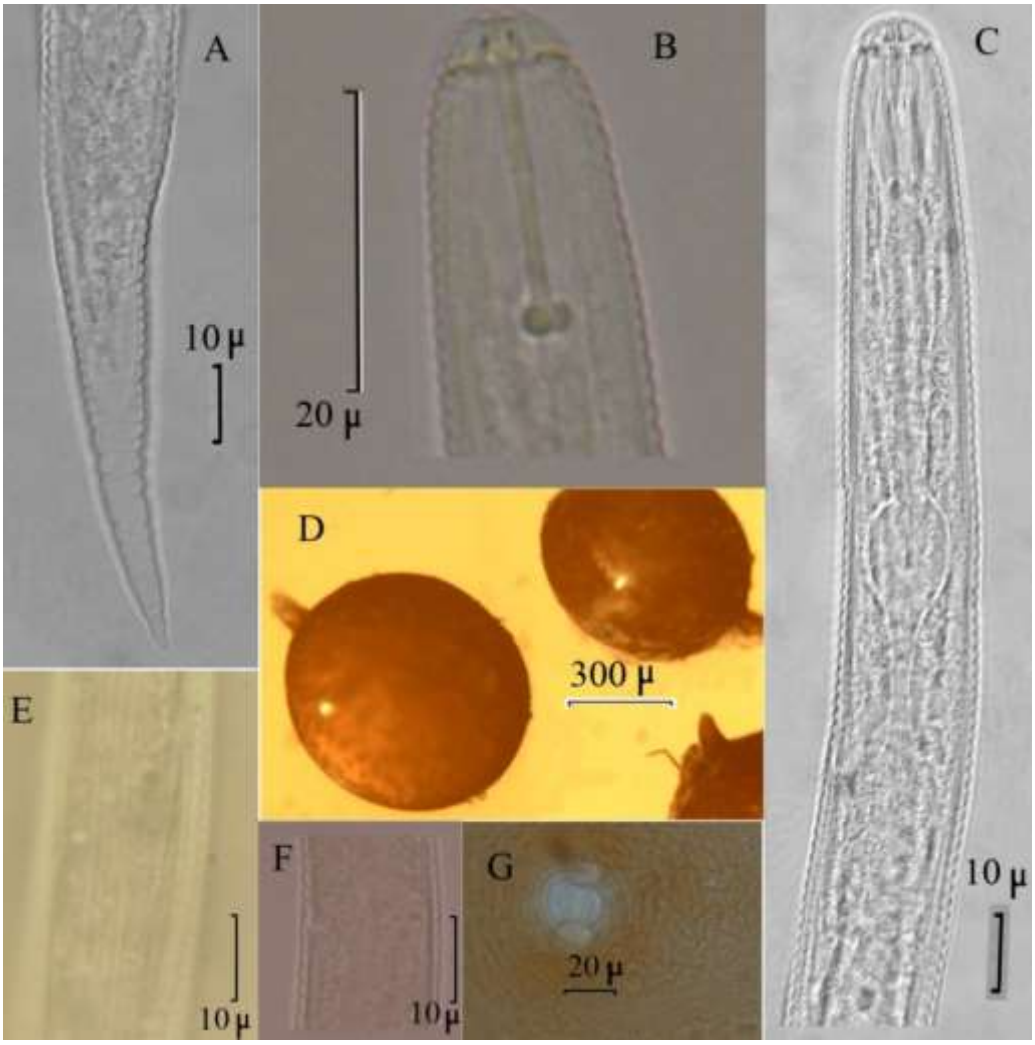
نتایج

در این بررسی جمعاً ۸۵۰ نمونه خاک و ریشه سیب‌زمینی از مزارع سیب‌زمینی استان‌های غربی کشور جمع‌آوری و از نظر وجود نماتد سیستی سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت. در مناطق کشت بهاره همدان ۶۳/۸ درصد مزارع یعنی حدود ۸۹۳۲ هکتار آلوده به نماتد بودند (جدول ۱). در حدود ۵۰۰۰ هکتار از مزارع کشت بهاره استان همدان سیستی مشاهده نشد. این مزارع بیشتر تحت آیش بودند و در قسمت‌های شمالی و حاشیه‌ای شهرستان‌های بهار و همدان قرار دارند (شکل ۳). از سایر مناطق سیب‌زمینی‌کاری استان همدان و استان‌های مرکزی، لرستان، قزوین، زنجان و کرمانشاه نماتد سیستی سیب‌زمینی پیدا نشد. در استان کردستان، از شهر دیزج، در یک مزرعه ۳۵ هکتاری متعلق به کشاورزی ساکن شهر بهار همدان، تعداد سه لکه‌ی آلوده به نماتد مشاهده و سیست‌های نماتد استخراج و شناسایی گردید.

داده‌های ریخت‌سنجی جمعیت شهر بهار (استان همدان) گونه *Globodera rostochiensis* در جدول ۲ آمده است. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی سیست‌ها و لاروهای سن دو جمعیت مورد مطالعه تطابق کامل با گزارش‌های قبلی دارد (Stone 1973, Wouts & Baldwin 1998, OEPP/EPPO 2004). لارو سن دو دارای بدن کرمی‌شکل و به سمت دم دارای باریک شده‌گی، سطوح جانبی دارای چهار شیار طولی،

سر تقریبا متمایز از بدن، دارای پنج شیار عرضی. استایلت رشدیافته و قوی با گره‌های گرد و مشخص. منفذ ترشحی_دفعی اغلب عقب‌تر از همیزونید. دم مخروطی با انتهای گرد (شکل ۲). سیست‌ها قهوه‌ای روشن تا تیره، گرد با گردنی برآمده، پنجره خروجی لارو تک حجره‌ای و دایره‌ای شکل (circumfenestrate)، مخرج V شکل.

استفاده از پرایمرهای اختصاصی و تکثیر قطعه‌ای به طول ۳۲۰ bp نشان داد که جمعیت‌های مختلف جمع‌آوری شده از شهرستان‌های بهار و همدان به گونه *G. rostochiensis* تعلق دارند (شکل ۴). نتیجه انجام واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز با استفاده از پرایمر اختصاصی گونه *G. pallida* منفی بود و هیچ باندی تشکیل نگردید. در صورت مثبت بودن، باید باندی در حدود ۸۰۰ bp تشکیل می‌شد.

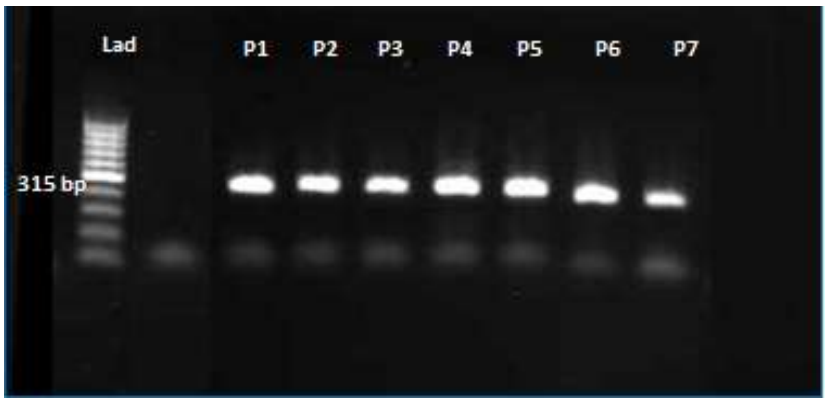


شکل ۲. نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی (جمعیت استان همدان). A-C، E و F: لارو سن دو؛ D و G: سیست. A: دم؛ B: ناحیه جلویی بدن؛ C: بخشی از مری؛ D: سیست‌ها؛ E: سطح جانبی؛ F: روزنه ترشحی -دفعی؛ G : برش انتهایی سیست.

Fig. 2. Potato golden cyst nematode (Hamedan province population). A- C, E & F: Second-stage juvenile; D & G: Cyst. A: Tail; B: Anterior body region; C: Part of pharynx; D: Cysts; E: Lateral field; F: Secretory-excretory pore; G: vulval region section.

شکل ۳. نقشه مناطق آلوده به نماتد طلایی سیب‌زمینی در شهرستان‌های بهار و همدان، استان همدان.

Fig. 3. The map of infested areas to potato golden cyst nematode in Bahar and Hamedan cities, Hamedan province.



شکل ۴. قطعه تکثیر شده به طول ۳۲۰ جفت باز حاصل از انجام واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز (RAPD-PCR) با استفاده از پرایمرهای اختصاصی در هفت جمعیت *Globodera rostochiensis* جمع‌آوری‌شده از استان همدان.

Fig. 4. Amplified fragment with a length of 320 bp, resulting from polymerase chain reaction (RAPD-PCR) in seven populations of *Globodera rostochiensis* collected from Hamedan province.

جدول ۱. وضعیت مزارع سیب‌زمینی استان همدان از نظر آلودگی به نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی و سطح آلودگی آن‌ها طبق شاخص میزان آلودگی احمدی و تنهامعافی (۲۰۱۴).

Table 1. The status of potato farms in Hamedan province in terms of infestation with the potato golden cyst nematode and infestation level according to the Ahmadi & Tanha Maafi (2014) infestation index.

No.	The level of nematode infestation	Eggs and J2s in 200 gr soil	The ratio of infested farms to total sampled farms	Area (ha)
1	Zero	0	36.2%	5068
2	Low	1-400	11.2%	1570
3	Medium	401-1000	21.9%	3074
4	High	1001-2000	11.2%	1568
5	Very high	> 2000	19.4%	2720

جدول ۲. مشخصات ریخت‌سنجی جمعیت ایرانی (شهرستان بهار) *Globodera rostochiensis* (همه اندازه‌ها به میکرومتر است).

Table 2. Morphometric characteristics of the Iranian (Bahar) population of *Globodera rostochiensis* (All measurements are in µm).

Character	Bahar population	Golden & Ellington 1972	Manduric *et al*. 2004	Yu *et al.* 2010
Second stage juvenile				
n	50	50	36	60
L	417 ± 31.3 (382-510)	430 (370-470)	440 (350-570)	410 (360-470)
Tail length	51 ± 4.2 (44-58)	51 (44-57)	54 (40-61)	50 (42-59)
Stylet	21 ± 0.7 (19-22)	22 (21-23)	23 (19-24)	21 (18-23)
Tail terminal hyaline	22 ± 2.1 (17-29)	24 (18-30)	25 (15-33)	24 (17-31)
a	19 ± 2.2 (15-24)	19 (16-23)	19 (15-26)	18 (15-25)
b	2.4 ± 0.43 (2.2-2.6)	2.3 (2.2-2.5)	2.4 (2.1-2.7)	2.3 (2.1-2.7)
c	8 ± 2.6 (7-10)	8 (7-9)	9 (6-10)	8 (7-9)
Cyst				
n	40	50	35	35
No. of cuticular ridges	22 ± 6.7 (13-28)	21 (12-31)	20 (12-28)	21 (12-31)
Anus-vulva distance	78 ± 21.4 (43-129)	60 (35-77)	74 (38-149)	81 (29-165)

بحث

بر اساس آخرین گزارش از پراکنش نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی در سال ۱۳۹۳ (Tanha Maafi 2014)، از کل ۱۴۸۸۵ هکتار مزارع کشت بهاره‌ی استان همدان، ۵۷۲۵ هکتار معادل ۳۸/۵ درصد از مزارع به نماتد آلوده بوده است. نتایج تحقیق فعلی مشخص کرد در حال حاضر، ۹۳۴۸ هکتار معادل ۶۲/۸ درصد از مزارع کشت بهاره‌ی استان آلوده هستند. علاوه بر آن، آلودگی توسط ماشین‌آلات آلوده و یا سایر موارد تا شهر دیزج در استان کردستان با فاصله حدود ۶۰ کیلومتر از مبدأ آلودگی گسترش یافته است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر و مطالعات مشابه در سایر نقاط دنیا، پیشنهاد می‌شود مناطق آلوده شناسایی شده در این مطالعه به روش مناسب قرنطینه گردد. در این منطقه سالیانه حدود ۱۰،۰۰۰ هکتار سیب‌زمینی کشت شده و به طور میانگین حدود ۳۵۰،۰۰۰ تن سیب‌زمینی خوراکی تولید و برای مصرف کشور به تمام استان‌ها منتقل می‌شود (Ahmadi *et al.* 2018). با توجه به این‌که در هر کامیون سیب‌زمینی حدوداً ۲۰۰ کیلوگرم خاک همراه غده‌ها وجود دارد (مشاهدات نگارنده اول)، بنابراین سالیانه حداقل ۷،۰۰۰ تن خاک آلوده، که به طور میانگین حداقل حاوی ۱۰۰ تخم و لارو در هر کیلوگرم است، به تمام نقاط کشور منتقل می‌شود. این امر به احتمال زیاد منجر به انتشار آلودگی به

مناطق دیگر کشور خواهد شد. با توجه به این‌که مقادیر قابل توجهی از سیب‌زمینی خوراکی و بذری تولیدی استان همدان به دلیل نزدیک بودن به مرزهای صادراتی و وجود بستر مساعد از جمله تأسیس سردخانه‌های متعدد صادر می‌گردد، بنابراین آلوده بودن محموله‌های صادراتی، احتمالاً در آینده مشکلات جدی به همراه خواهد داشت. فرهنگ‌سازی مناسب و تعامل سازنده کشاورزان در خصوص این نماتد مانند آنچه در بررسی انتشار آلودگی در مزرعه‌ی سیب‌زمینی شهر دیزج مشاهده شد، نقش مهمی در مهار این نماتد دارد. همکاری کشاورز همدانی در شهر دیزج و نهایت تلاش برای قرنطینه نمودن مزرعه مربوطه، رعایت تناوب گندم – سیب‌زمینی و کشت ارقام مقاوم مانند سانته و بافت رسی خاک، در جلوگیری از تکثیر و پراکنش هرچه بیشتر نماتد در این نقطه بسیار موثر بوده است.

در سال‌های اخیر از روش‌های مختلفی برای مبارزه با نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی استفاده شده است. ضدعفونی گسترده مزارع با آلودگی زیاد طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ توسط سازمان حفظ نباتات، ممانعت از کشت ارقام حساس مانند مارفونا در مناطق آلوده، تناوب زراعی با محصولاتی مانند سیر، یونجه، موسیر، خیار و جالیز، کلزا، جو، گندم و ذرت، کشت ارقام مقاوم سیب‌زمینی مانند بانبا و سانته، تقویت خاک با کودهای پتاسه، هیومیک اسید، فولویک اسید و کودهای گوگردی قبل از کاشت و در هنگام داشت محصول، استفاده گسترده از نماتدکش‌های شیمیایی مانند ولوم، ترویگو، فوستیازیت و آبامکتین و ترکیبات متعدد تولید داخل، که در سال‌های اخیر توسط شرکت‌های دانش‌بنیان تولید شده است، از روش‌هایی است که در کاهش سرعت گسترش نماتد و ثبات تولید سیب‌زمینی کشور نقش داشته است. با این وجود نماتد سیستی طلایی سیب‌زمینی به‌تدریج انتشار یافته و سطح آلودگی آن افزایش یافته است.

استفاده از ارقام مقاوم مثل ارقام سانته، کلمبو و بانبا یکی از کاربردی‌ترین و آسان‌ترین روش‌های مبارزه با نماتدهای سیستی سیب‌زمینی است. این روش از نظر ممانعت از تکثیر نماتد، کوتاه نمودن طول دوره تناوب زراعی، سازگاری با محیط زیست و عدم آلودگی‌های زیست محیطی، عدم تحمیل هزینه مازاد و در دسترس بودن ارقام مقاوم دارای مزایا است. امروزه ارقام مقاوم می‌توانند جمعیت نماتد سیستی طلایی را در هر فصل رشد تا ۸۰ درصد کاهش دهند. البته استفاده از رقم مقاوم علیه نماتد سیستی سفید سیب‌زمینی دارای محدودیت‌هایی است (Marks & Brodie 1998).

تضاد منافع

نویسندگان در خصوص تحقیق انجام شده و محل انجام پژوهش تضاد منافعی ندارند.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه تربیت مدرس و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان سپاس‌گزاری می‌کنند. هم‌چنین از زحمات پرسنل واحد نقلیه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، آقایان مجیدی و حسینی بابت همکاری و همراهی در نمونه‌برداری سپاس‌گزاری می‌گردد.

References

Abidou H., El-Ahmed A., Nicol J.M., Bolat N., Rivoal R. & Yahyaoui A. 2005. Occurrence and distribution of species of the *Heterodera avenae* group in Syria and Turkey. *Nematologia Mediterranea* 33, 195-201.

Ahmadi A. & Tanha Maafi Z. 2014. Incidence of cereal cyst nematodes (*Heterodera avenae* type B and *H. filipjevi*) in southwestern Iran. *Journal of Crop Protection* 3(1), 75-88. doi: 20.1001.1.22519041.2014.3.1.10.5

Ahmadi K., Gholizadeh H., Ebadzadeh H., Hoseinpour R., Hatami F., Fazli B.& Rafiei M. 2018. *Statistics of agricultural crops of Iran, first volume*. Ministry of Agriculture Jihad.

Bakker E., Achenbach U., Bakker J., van Vliet J., Peleman J., Segers B., … Hutten R. 2004. A high-resolution map of the *H1* locus harbouring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Theoretical and Applied Genetics* 109 (1), 146-152. doi: 10.1007/s00122-004-1606-z

Boucher A.C., Mimee B., Montarry J., Bardou-Valette S., Bélair G., Moffett P. & Grenier, E. 2013. Genetic diversity of the potato golden cyst nematode *Globodera rostochiensis* and determination of the origin of populations in Quebec, Canada. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 69 (1), 75-82. DOI: 10.1016/j.ympev.2013.05.020

Camacho M.J., Nobrega F., Lima A., Mota M. & Inácio M. L. 2017. Morphological and molecular identification of the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in Portuguese potato fields. *Nematology* 19, 883-889. doi 10.1163/15685411-00003094

Canto-Saenz M. & De Scurrah M.M. 1977. Races of the potato cyst nematode in the Andean region and a new system of classification. *Nematologica* 23, 340-349. DOI .org/10.1163/187529277X00066

Contina J.B., Dandurand L.M. & Knudsen G.R. 2018. A spatial analysis of the potato cyst nematode *Globodera pallida* in Idaho. *Phytopathology* 108(8), 988-1001. DOI: 10.1094/phyto-11-17-0388-R

De Grisse A.T. 1969. Redescription et modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nematodes phytoparasitaires. *Mededelingen Rijksfakulteit der Landbouwwetenschappen Gent* 34, 351-369.

EFSA Panel on Plant Health. 2012. Scientific opinion on the risks to plant health posed by European versus non-European populations of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *G. rostochiensis*. *European Food Safety Authority Journal* 10 (4), 2644. doi: /10.2903/J.efsa.2012.2644

Ellenby C. 1954. Tuber forming species and varieties of the genus *Solanum* tested for resistance to the potato root eelworm *Heterodera rostochiensis* Woll. *Euphytica* 3, 195–202. DOI.org/10.1007/BF00055593

EPPO. 2022. EPPO Datasheet: *Globodera rostochiensis*. Available online. https://gd.eppo.int/taxon/HETDRO/datasheet. https: //doi.org /10.1111/j.1365-2338.1981.tb01753.x

Evans K. & Stone A.R. 1997. A review of the distribution and biology of the potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *PANS* 23 (2), 178-189. https://doi.org/10.1080/09670877709412426

FAOSTAT. 2018. *World Food and Agriculture Organization statistical yearbook 2018*. https://www.fao.org/faostat/en/#home

Fullaondo A., Barrena E., Viribay M., Barrena I., Salazar A. & Ritter, E. 1999. Identification of potato cyst nematode species *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* by PCR using specific primer. *Nematology* 1 (2), 157-163. https://doi.org/10.1163/156854199508126

Gitti M. & Tanha Maafi Z. 2008. First report of quarantine potato cyst nematode in Hamadan province. In *Proceeding of 18th Plant Protection Congress, Vol. 2: Plant diseases and weeds* (p. 604). Hamadan, Bu-Ali Sina University.

Gitti M. & Tanha Maafi Z. 2010. First report of a potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, on potato, in Iran. *Plant Pathology* 59 (2), 412. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02135.x

Gitti M., Tanha Maafi Z., Arjmandian A. & Pishevar S.H. 2011. Occurrence of potato golden cyst nematode in Iran and its distribution in Hamadan province. *Agricultural Biotechnology* 10 (1), 53-61. (In Persian with English summary).

Golden A.M. & Ellington D.M.S. 1972. Re-description of *Heterodera rostochiensis* (Nematoda: *Heteroderidae*), with a key and notes on closely related species. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* 39 (1), 64-78.

Hassan M.A., Pham T.H, Shi H. & Zheng J. 2013. Nematodes threats to global food security. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science* 63(5), 420-425. DOI: 10.1080/09064710.2013.794858

Jenkins W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report* 48, 692.

Kort J., Ross H., Rumpenhorst H.J. & Stone A.R. 1977. An international scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica* 23 (3), 333-339. https://doi.org /10.1163/187529277X00057

Madani M., Subbotin S.A, Ward L.J., Li X. & De Boer S.H. 2010. Molecular characterization of Canadian populations of potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* using ribosomal nuclear RNA and cytochrome b genes. *Canadian Journal of Plant Pathology* 32 (2), 252-263. https://doi.org/10.1080/07060661003740033

Manduric S., Olsson E., Englund J.E. & Andersson, S. 2004. Separation of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* (Tylenchida: *Heteroderidae*) using morphology and morphometrics. *Nematology*, 6(2), 171-181. doi: https://doi. org/10.1163/1568541041217979

Marks R.J. & Brodie B.B. 1998. *Potato cyst nematodes: biology, distribiution and control, 1st Edition.* Wallingford, CAB International.

Nicol J.M., Turner S.J., Coyne D.L., Den Nijs L., Hockland S. & Tanha Maafi Z. 2011. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones J., Gheysen G. & Fenoll C. (Ed.), *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions* (pp. 21–44). Dordrecht, Springer.

OEPP/EPPO. 2004. *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 34 (2), 309-314. https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2004.00734.x

Rahbari S., Tanha Maafi Z., Eskandari A. & Gitty M. 2017. Pathotype and molecular characteristics of some Iranian potato cyst nematode populations, *Globodera rostochiensis* and impact of the resistant and susceptible potato cultivars on egg hatching. *Iranian Journal of Plant Pathology* 51 (2), 231-247. (In Persian with English summary).

Stone A.R. 1973. *Heterodera rostochiensis*. CIH descriptions of plant parasitic nematodes, set 2,

No. 16. St. Albans, UK: Commonwealth Institute of Helminthology.

Tanha Maafi Z., Subbotin T. & Moens M. 2003. Molecular identification of cyst-forming nematodes (Heteroderidae) from Iran and a phylogeny based on ITS-rDNA sequences. *Nematology*, 5(1), 99-111. doi: https:// doi.org/10.1163/156854102765216731

Tanha Maafi Z. 2014. Sampling, identifying and determining the distribution of potato cyst nematodes in the potato cultivation areas of the Iran. *Final report of the project, registration number 46159*. Institute of Plant Protection, Tehran, Iran.

Wouts W.M. & Baldwin J.G. 1998. Taxonomy and identification. In: Sharma S.B. (Ed.), *The cyst nematodes* (pp. 83-122). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Yu O., Ye W., Sun F. & Miller S. 2010. Characterization of *Globodera rostochiensis* (Tylenchida: *Heteroderidae*) associated with potato in Quebec, Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* 32 (2), 264-271. DOI: 10.1080/07060661003740322