OZIQ-OVQAT VA QISHLOQ XO‘JALIGI MAHSULOTLARI XAVFSIZLIGINI TA’MINLASHDA SOVUQ ATMOSFERIK PLAZMA TEXNOLOGIYASINING SALOHIYATI: TAHLILIY MAQOLA

Xumoyun Omonov
Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti, “TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti, 100000 Toshkent, O‘zbekiston.
Davronjon Abduvokhidov
Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti, “TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti, 100000 Toshkent, O‘zbekiston.
Dilshod Mansurov
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy Universiteti, 100174 Toshkent, O‘zbekiston.
Maksudbek Yusupov
Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti, “TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti, 100000 Toshkent, O‘zbekiston.
Jamoliddin Razzokov
Fundamental va amaliy tadqiqotlar instituti, “TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti, 100000 Toshkent, O‘zbekiston.

Annotatsiya: Sovuq atmosferik plazma (SAP) gazga elektr energiya manbai qo‘llanilganda hosil bo‘ladi, natijada ultrabinafsha fotonlar, zaryadlangan zarralar, radikallar va boshqa reaktiv azot, kislorod va vodorod turlari kabi bir nechta reaktiv zarrachalar ishlab chiqariladi. SAP - bu yangi, issiqlik ta’sirisiz ishlov beruvchi texnologiya bo‘lib, oziq-ovqat mahsulotlarini dezinfeksiya qilishda katta salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi va so‘nggi yillarda oziq-ovqatni qayta ishlashning turli yo‘nalishlarida katta qiziqish uyg‘otmoqda. Ushbu sharh SAP texnologiyasining asosiy dizayn elementlari, SAP’ning ta’sir mexanizmi hamda oziq-ovqat sanoatiga mos SAP texnologiyalari turlariga e’tibor qaratgan holda, uni asosiy oziq-ovqat ilovalarida qo‘llash imkoniyatlarini muhokama qiladi. Oziq-ovqat sanoatida SAP quyidagi maqsadlarda qo‘llanilgan: oziq-ovqat mahsulotlarini dezinfeksiya qilish, pestitsid qoldiqlarini yo‘qotish, fermentlarni inaktivatsiya qilish, toksinlarni yo‘q qilish va turli hil qadoqlash usullari Ayniqsa, oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlashda SAP *Listeria monocytogenes* va *Salmonella Typhimurium*, rim salat bargi (*romaine lettuce*) dagi *Tulane* virusi, *Escherichia coli* O157:H7, *Campylobacter jejuni* va go‘sht mahsulotlari hamda meva-sabzavotlardagi *Salmonella spp.* kabi asosiy oziq-ovqat bilan yuqadigan patogen mikroorganizmlarga qarshi samarali hisoblanadi. Biroq, baliq mahsulotlarida yog‘larning oksidlanishi va sharbatdagi oligosaxaridlarning parchalanishi kabi ayrim kamchiliklar aniqlangan. Shu sababli, ushbu salbiy ta’sirlarni kamaytirish

ISSN 3030-3907

uchun qo‘shimcha tadqiqotlar zarur. Bundan tashqari, texnologiyaning salohiyatini to‘liq ochib berish uchun ham yanada chuqurroq ilmiy izlanishlar talab etiladi.

Kalit so‘zlar: sovuq atmosferik plazma; dezinfeksiya; oziq-ovqat xavfsizligi; qishloq xo‘jaligi mahsulotlari.

Abstract: Cold atmospheric plasma (CAP) is generated when an electrical energy source is applied to a gas, resulting in the production of multiple reactive species such as ultraviolet photons, charged particles, radicals, and other reactive nitrogen, oxygen, and hydrogen species. CAP is an emerging non-thermal processing technology that has demonstrated significant potential in food product decontamination and has attracted considerable interest in various areas of food processing in recent years. This review discusses the potential applications of CAP in major food sectors, with a focus on its key design elements, mechanisms of action, and types of CAP technologies suitable for the food industry. In the food industry, CAP has been applied for the following purposes: decontamination of food products, removal of pesticide residues, enzyme inactivation, toxin elimination, and various packaging methods. In particular, CAP has proven effective in food processing against major foodborne pathogenic microorganisms, including *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Typhimurium*, *Tulane* virus on *romaine lettuce* leaves, *Escherichia coli* O157:H7, *Campylobacter jejuni*, and *Salmonella spp.* in meat products and fruits and vegetables. However, some drawbacks have been identified, such as lipid oxidation in fish products and degradation of oligosaccharides in juices. Therefore, additional research is necessary to minimize these adverse effects. Furthermore, deeper scientific investigations are required to fully unlock the technology's potential.

Keywords: cold atmospheric plasma; decontamination; food safety; agricultural products.

Аннотация: Холодная атмосферная плазма (ХАП) генерируется при подаче источника электрической энергии на газ, в результате чего образуется множество реакционноспособных частиц, таких как ультрафиолетовые фотоны, заряженные частицы, радикалы и другие реактивные частицы азота, кислорода и водорода. ХАП представляет собой новую технологию обработки без теплового воздействия, которая продемонстрировала значительный потенциал в дезинфекции пищевых продуктов и в последние годы вызвала большой интерес в различных направлениях переработки пищевых продуктов. Данный обзор обсуждает возможности применения ХАП в основных секторах пищевой промышленности, с акцентом на ключевые элементы конструкции, механизмы действия и типы технологий ХАП, подходящие для пищевой отрасли. В пищевой промышленности ХАП

ISSN 3030-3907

применялась для следующих целей: дезинфекция пищевых продуктов, удаление остатков пестицидов, инактивация ферментов, уничтожение токсинов и различные методы упаковки. В частности, ХАП оказалась эффективной в переработке пищевых продуктов против основных патогенных микроорганизмов пищевого происхождения, включая *Listeria monocytogenes* и *Salmonella Typhimurium*, вирус *Tulane* на листьях салата ромэн, *Escherichia coli* O157:H7, *Campylobacter jejuni* и *Salmonella spp.* в мясных продуктах, фруктах и овощах. Однако были выявлены некоторые недостатки, такие как окисление липидов в рыбных продуктах и деградация олигосахаридов в соках. Поэтому необходимы дополнительные исследования для минимизации этих негативных эффектов. Кроме того, для полного раскрытия потенциала технологии требуются более глубокие научные исследования.

Ключевые слова: холодная атмосферная плазма; дезинфекция; безопасность пищевых продуктов; сельскохозяйственная продукция.

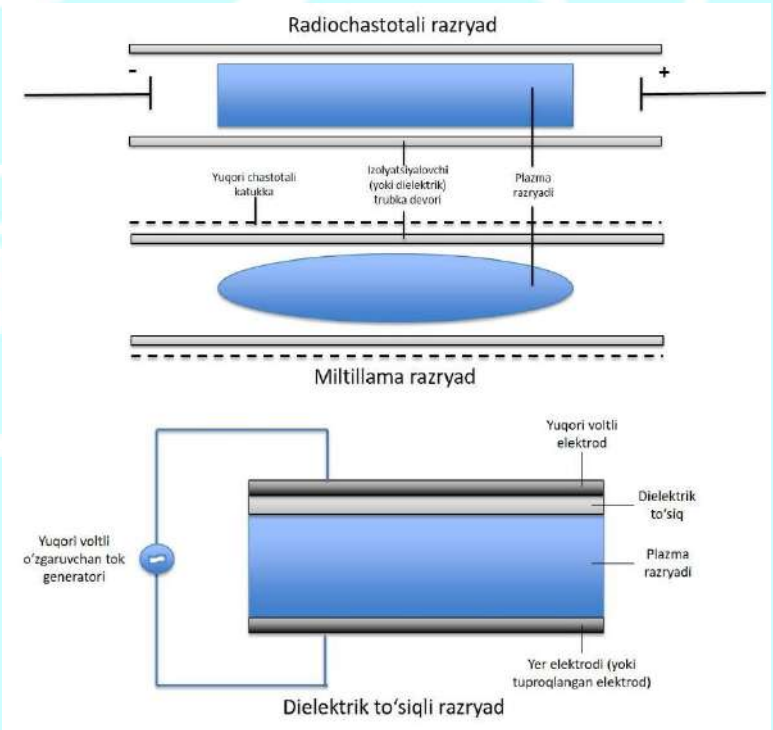
1. Kirish

Umuman olganda, plazma “moddaning to‘rtinchi holati” sifatida tavsiflanadi. Whitehead, J. C. [1] ga ko‘ra, plazma to‘liq yoki qisman ionlangan gazlardan iborat bo‘lib, uning kimyosini boshqaruvchi zaryadlangan va neytral reaktiv zarrachalarini o‘z ichiga oladi. Whitehead, J. C. [1] sovuq atmosferik plazmani (SAP) atrof-muhit harorati va bosimida yuqori energiyali elektronlar manbai sifatida ta’riflagan bo‘lib, ular ochiq yoki nazorat ostidagi muhitda o‘zaro ta’sirga kirishadi. SAP tomonidan molekulalar, reaktiv zarrachalar, erkin radikallar, UB reaktiv turlar, va N_2, O_2, va H_2 ning reaktiv zarrachalari, muvozanatli yoki muvozanatsiz holatda hosil bo‘ladi [2]. Termal plazmada reaktiv zarrachalar turlari bir necha mingdan 10 000 K dan yuqori haroratgacha qizdirilgan muhit yoki gazlarda hosil bo‘ladi. Xususan, bunday plazmada reaktiv elektronlar va og‘ir turlar odatda muvozanat holatida bo‘lmaydi, shuningdek, hosil bo‘lgan elektronlarning harorati zaryadlangan va neytral ionlarning og‘ir turlarining haroratidan ham yuqori bo‘ladi [3]. Shuningdek, plazma hosil bo‘lishi jarayonida yuzaga keladigan issiqlik oziq-ovqat uchun salbiy ta‘sir ko‘rsatishi mumkin.

SAP esa elektr razryadi tufayli reaktiv zarrachalar hosil qilish orqali past haroratda yuqori energiya hosil qiladi, bu esa sirtni modifikatsiya qilish va patogen mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilish uchun yuqori darajada qo‘zg‘algan turlarni hosil qiladi [4]. Elektronlarning dissosilanishi va fon gazining ionlanishidan kelib chiqadigan energiya turli kimyoviy bog‘larni uzish uchun samarali hisoblanadi [4].Odatda, SAP 1 atmosfera bosimida, elektron harorati esa odatda 1 dan 10 eV gacha bo‘lgan oraliqda hosil qilinadi [4-6]. Whitehead, J C. [1] ko'rsatganidek, maxsus plazma kimyoviy ehtiyojlarga moslashtirilgan yaxshi belgilangan

ISSN 3030-3907

jarayonni ishlab chiqarish uchun plazma hosil qilishning bir nechta parametrlari, masalan, plazma reaktori dizayni va tuzilishi, gaz tarkibi, plazma energiyasi, chastotasi, modulyatsiyasi, impuls shakli va kirish energiyasi davomiyligi talab qilinadi. SAP oziq-ovqatni zararsizlantirish uchun mos keladi, chunki u kuchli tizim parametrlarni o‘z ichiga olmaydi [5–7]. Uchta asosiy SAP razryad tizimi mavjud [8] (1 rasm). Birinchi tur radiochastotali razryad (RChR) bo‘lib, elektr impulslar yordamida elektr g‘altak markazida SAP hosil qilinadi. Ikkinchi tur - bu past bosimli gazli shisha trubkada ikki elektrod o‘rtasida kuchlanish qo‘llanilishi orqali hosil qilinadigan noissiq miltillama razryadi plazmasidir. Uchinchi turdagi plazma generatsiyasi usulida esa elektrodlar orasiga izolyatsiyalovchi (dielektrik) material joylashtiriladi va bu tok oqimini tarqatish orqali plazmani hosil qiladi. Bu dielektrik to‘siqli razryad (DTR) yangi mahsulotlar yuzasida mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilish uchun ayniqsa mos keladi, chunki reaktiv kislorod zarralari (RKZ) va reaktiv azot zarralari (RAZ) to‘g‘ridan-to‘g‘ri muhrlangan qadoqlarda hosil qilinishi mumkin [9].



1-rasm. Uchta asosiy razryad turi sxemalari: Yuqorida — radiochastotali razryad, o‘rtada — miltillama razryad, pastda — dielektrik to‘siqli razryad. Ko’k rangli zonalar sovuq plazma razryadini ifodalaydi. [8]

Sovuq atmosferik plazma (SAP) iqlik sig‘imi, plazma qo‘llanilishining xilma-xilligi va, eng asosiysi, uning ishlab chiqarish xarajatlarining tejamkorligi ushbu texnologiyani oziq-ovqat sanoati uchun juda moslashuvchan qiladi. SAP oziq-ovqat mahsulotlarida muhim ahamiyatga ega bo‘lgan patogenlarni deyarli yoki umuman termik buzilishsiz yo‘q qiladi [8]. SAP patogenlarni uchta ta’sir mexanizmi orqali inaktivatsiya qiladi [10]. Birinchi ta’sir mexanizmi — reaktiv

ISSN 3030-3907

molekulalar, radikallar va musbat/salbiy zaryadlangan zarrachalarning mikroblar bilan kimyoviy o‘zaro ta’siridir [10]. Keyingi mexanizm — mikroorganizmlar membranasi va hujayra strukturaviy funksiyalarining ultrabinafsha (UB) nurlanish orqali buzilishi. Oxirgi mexanizm — plazma turlarining rekombinatsiyasi natijasida yuzaga keladigan UB nurlanishi orqali maqsadli dezoksiribonuklein kislotani (DNA) parchalanishidir [10]. Mikroblarni SAP orqali inaktivatsiya qilish samaradorligi aynan shu ta’sir mexanizmlariga bog‘liq bo‘lib, ularni ma’lum oziq-ovqat mahsulotlariga moslashtirish orqali optimallashtirish mumkin.

Reaktiv azot va kislorod zarrachlari oziq-ovqat mahsulotlariga qo‘llanilishi uchun samaradorligi muolajalanadigan mahsulotning xususiyatlariga va SAP tizimining konfiguratsiyasiga bog‘liq ekanligini ta’kidlash muhim. SAP yordamida oziq-ovqat mahsulotlarini samarali dezinfeksiyalash uchun asosiy e’tibor berilishi kerak bo‘lgan omillar quyidagilar: suv faolligi (mahsulot va tizim muhiti), oqsil va yog‘ miqdori, mahsulotning fizik tuzilishi, sporalar hosil qiluvchi xossalar va mikroorganizmlar yuklamasi. Nihollangan urug‘larda suv faolligini nazorat qilish oziq-ovqat orqali yuqadigan asosiy bakterial patogenlar - *L. monocytogenes, B. cereus, Salmonella va E. coli* ni yo‘q qilishda juda muhim hisoblanadi [11]. Terisiz va terili parranda bo‘laklarining oqsil va yog‘ miqdori sezilarli darajada farq qilishi bu mahsulotlardagi oqsil va yog‘ miqdorining yuzani SAP yordamida dezinfeksiya qilishdagi samaradorligiga qanday ta’sir qilishining misolidir [12]. SAP bilan ishlov berish yangi mahsulotlar, masalan, ko‘k mevalar (blueberries) ning rangi, ta’mi, tuzilishi va aromasiga ham ta’sir ko‘rsatishi mumkin [13-18].

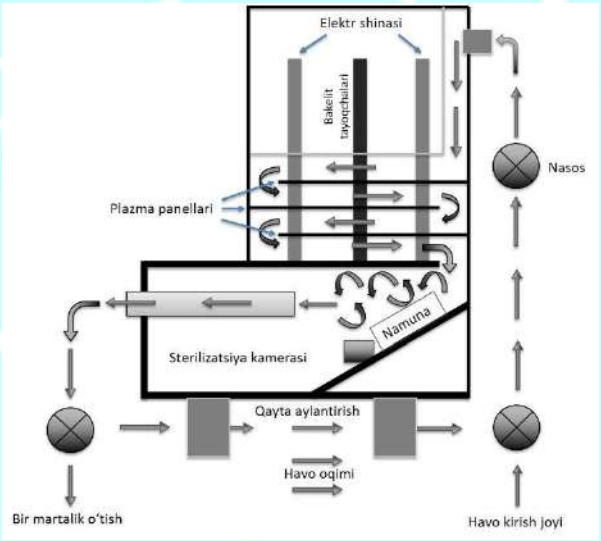
2. Sovuq atmosferik plazma texnologiyasining dizayn elementlari

SAP atmosferada yoki qisman vakuumda ishlaydi. Ko‘plab maxsus gazlar, masalan, kislorod, azot yoki geliy, argon yoki neon kabi inert gazlar kombinatsiyasi ishlatilishi mumkin. SAP da hosil bo‘ladigan yuqori energiya odatda to‘g‘ri tok, past chastota yoki 40 kHz, 13.56 MHz radio chastotali kuchlanish orqali bir juft yoki bir nechta elektrodlar ustida qo‘llaniladi [19]. Oziq-ovqatni sterilizatsiya qilish uchun mo‘ljallangan SAP tizimlarini uchta umumiy qurilma konfiguratsiyasiga ajratish mumkin [20]. Har bir tizimning o‘rnatilishi plazma va maqsadli sirt o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirga qarab turlicha antimikrobiyal samaradorlikni hosil qiladi. Ushbu uch xil tizim konfiguratsiyasi plazma hosil qiluvchi manba va sirtning joylashuviga asoslangan. Ular: (a) masofadan ishlov berish, (b) to‘g‘ridan-to‘g‘ri ishlov berish, va (c) elektrodlarning biriga yaqin joylashuvdir.

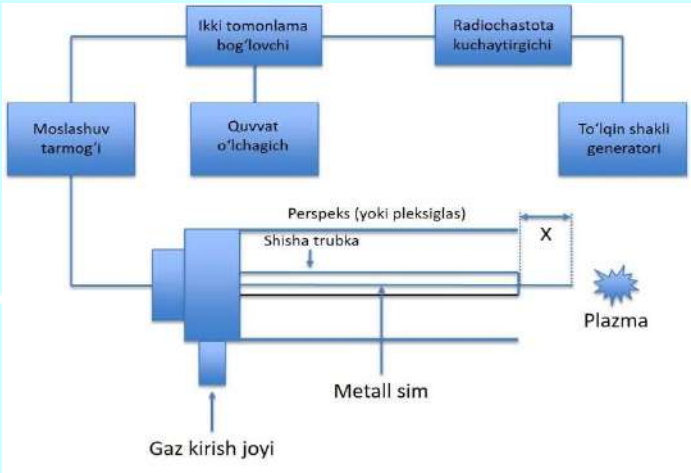
Masofadan ishlov berishda mahsulot plazma hosil qilinayotgan kameraga bevosita joylashtirilmaydi (2-rasm). Ushbu dizayn turi soddaligi va mahsulot hajmi hamda shakli jihatidan moslashuvchanligi bilan afzalliklarga ega.

ISSN 3030-3907

Ionlashtirilayotgan gaz havo yoki azot, yoki elektr, mikroto‘lqinli yoki lazer bilan birgalikdagi inert gazlar aralashmasi bo‘lishi mumkin [21]. Gadri, Roth, Montie, Kelly-Wintenberg, Tsai, Helfritch, Feldman, Sherman, Karakaya, va Chen [22] ga ko‘ra, bu qurilma konfiguratsiyasining kamchiligi shundaki, generatsiya kamerasida hosil bo‘lgan reaktiv turlar [23] boshqa plazma turlari bilan, xususan zaryadlangan zarrachalar yoki foton turlari bilan o‘zaro ta’sirga kirishib, ikkilamchi energiyaning kamayishiga olib keladi, natijada mikroblarni inaktivatsiya qilish salohiyati pasayadi. To‘g‘ridan-to‘g‘ri ishlov berish SAP tizimlarida (3- va 4-rasmlar) hosil bo‘lgan plazma bevosita mahsulot bilan aloqada bo‘ladi. Plazma ignasi (3-rasm) 2-3 mm uzunlikda SAP ni yupqa, to‘g‘ri po‘lat trubka uchida hosil qiladi, bu trubka 1 sm diametrga ega koaksial ichi bo‘sh silindrdir [24,25]. Ishlatilayotgan gaz asosan geliy bo‘lib (taxminan 0.3 L/minut), radio chastota (0.2-0.5 kV, 13.56 MHz) bilan birga ishlatilgan, umumiy quvvat sarfi esa muolaja parametrlariga qarab taxminan 20 mVt dan 3 Vt gacha bo‘lgan [24,25]. Mikroto‘lqinli plazma trubkasi (4-rasm) [26] mikroto‘lqinli tizimga (1 kVt, 2.45 GHz) argon (100 L/minut) bilan oziqlantiriladi. Muolaja nuqtasida hosil bo‘lgan UB intensivligi 65 dan 94 Vt/sm² gacha o‘zgarib turgan.

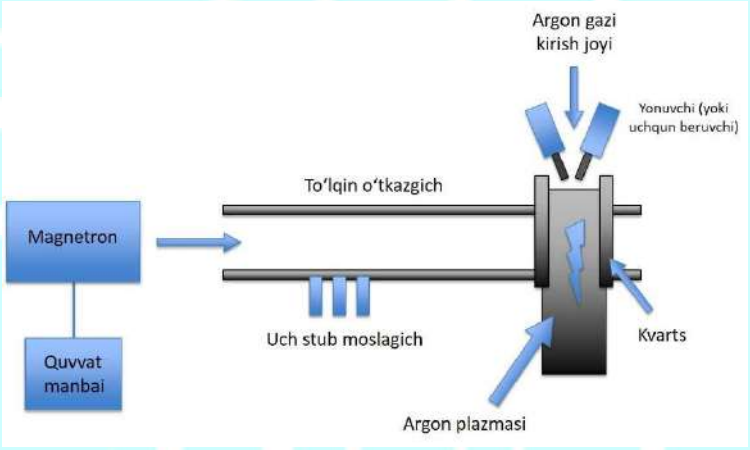


2-rasm. Masofaviy ta'sir plazma generatori [22].



3-rasm. Plazma igna [25].

ISSN 3030-3907



4-rasm. Mikroto'lqinli plazma trubkasi [26].

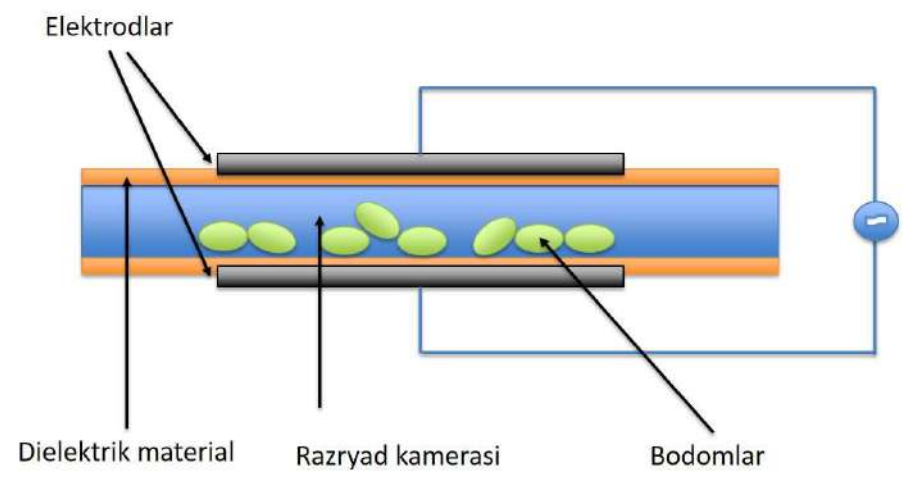
Ushbu konfiguratsiyada mikroblarni plazma orqali inaktivatsiya qilish mexanizmi ancha yuqori samaradorlikka ega, chunki ob'yektga bevosita yaqin joylashuv mavjud (ya'ni, masofaviy ishlov berishga nisbatan reaktiv turlar konsentratsiyasi yuqoriroq bo'ladi [20]). Ushbu o'rnatma hosil bo'lgan reaktiv turlarning boshqa ionlar va atomlar bilan qayta birikishini oldini oladi yoki kamaytiradi.

Ushbu tizimda mahsulotga juda yaqin joylashganligi sababli, UB nurlanish ta'siri darajasi juda yuqori bo'ladi, bu esa yuqori namlik yoki suv faolligiga ega mahsulotlarda issiqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi orqali hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin [20]. Bu ayrim go'sht yoki o'simlik mahsulotlari yuzasida salbiy ta'sirga olib keladi (ya'ni, kuyish izlari yoki oqsilning koagulyatsiyasi, shuningdek, hidi, tuzilishi, ko'rinishi va boshqa vitaminlar hamda ozuqa moddalarining buzilishi kabi nozik o'zgarishlar). Ushbu tizim moslashuvchan bo'lishi va plazma chiqaruvchi qurilmaning xususiyatlariga qarab turli o'lcham va shakldagi mahsulotlarga ishlov berish imkoniyatiga ega ekanini ta'kidlash muhimdir [8].

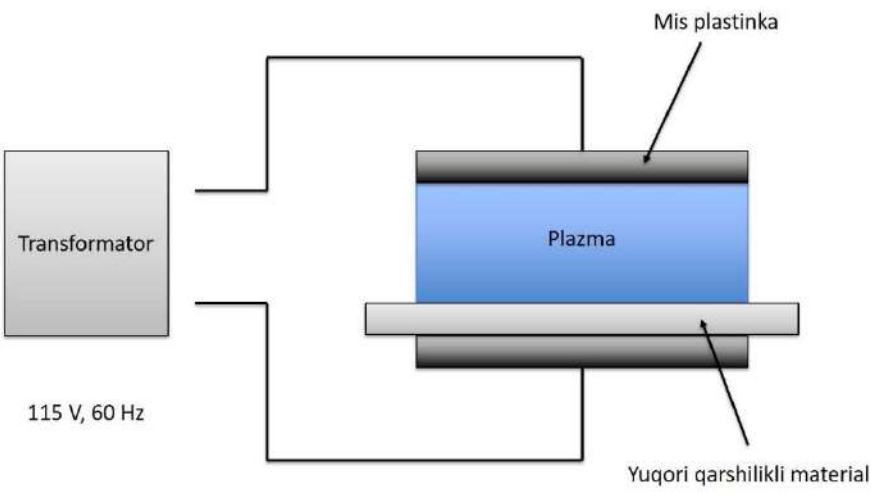
Uchinchi plazma tizimida ishlov beriladigan mahsulotlar elektrodlarning biriga juda yaqin aloqada bo'ladi [22] (5- va 6-rasmlar). Ushbu konfiguratsiyada mahsulotlar reaktiv plazma turlarining eng kuchli kombinatsiyasi hamda maksimal darajadagi erkin molekulyar turlar konsentratsiyasi, reaktiv zaryadlangan zarrachalar, manfiy zaryadlangan elektronlar va UB nurlanishiga duchor bo'ladi [27]. Nuqtaviy razryadlar va lokal qizib ketish muammolarining oldini olish uchun ishlov beriladigan mahsulotlarning o'lchami va shakliga mos plazma parametrlari ehtiyotkorlik bilan tanlanishi nihoyatda muhim [8]. Deng, Ruan, Kyoon Mok, Huang, va Chen [28] ga ko'ra, sterilizatsiya qilinadigan mahsulot elektrodlar orasiga sig'ishi lozim. Ushbu turdagi elektrod tizimi konfiguratsiyasida elektrodlar orasidagi makonda ba'zi jismoniy cheklovlar mavjud bo'lsada, kiruvchi gaz tarkibini va elektrodlarning dizayn parametrlari o'zgartirish imkoniyati tufayli tizimda ko'p qirrali moslashuv mavjud [22]. Ushbu konfiguratsiya kichik

ISSN 3030-3907

mahsulotlar (urug‘lar, rezavorlar, yong‘oqlar va boshqalar) va yassi ob’yektlar (masalan, tovuq filesi) uchun eng yaxshi mos keladigan konfiguratsiyadir [22].



5-rasm. Dielektrik to'siqli razryad [22].



6-rasm. Rezistiv to'siqli razryad [29].

3. Sovuq atmosferik plazmaning ta’sir mexanizmi va uni oziq-ovqatni dezinfeksiyalashda qo‘llash

SAP tizimlarining antimikrobiyal faolligi uchun asosiy faol komponentlar reaktiv kislorod zarralari (RKZ) sifatida aniqlangan. Xu, Shen, Zhang, Ma J., Ma R., Zhao, Sun, Qian, Zhang, Ding, Cheng, Chu va Xia [30] mikroorganizmlar hujayralari ichida reaktiv kislorod zarralarining hosil bo‘lishi ularning, ayniqsa, *Staphylococcus aureus* ning inaktivatsiyasiga olib kelishini xabar qilgan. Ali, Kim, Lee J. Y., Lee S., Uhm, Cho, Park va Choi [31] (RKZ) hosil bo‘lishi bilan buzilish bakteriyalarining inaktivatsiyasi o‘rtasida salbiy bog‘liqlik mavjudligini aniqlagan. Lee, Park, Jin, Kim, Han, Kim, Hyun, Chung va Park [32] mikroorganizmlar yuqori darajadagi UB nurlanishiga duchor bo‘lganda UB nurlanish asosiy sterilizator sifatida faoliyat yuritishini aniqlagan. SAP shuningdek, vodorod peroksid va azot turlarini hosil qiladi, ular ham antimikrobiyal xossalarga ega [33]. Patil, Moiseev, Misra, Cullen, Mosnier, Keener va Bourke [9], hamda Dorai va Kushner [34] elektr razryadlari namlangan havoda gidroksid, peroksid va azot oksidlari kabi erkin

ISSN 3030-3907

radikallarni hosil qilganini aniqlagan. Ozonning oz miqdori aniqlangan bo‘lsada, namlik darajasi oshgani sari uning miqdori kamaygan. Gidroksid radikallari suv muhitida sterilizatsiyada muhim rol o‘ynaydi va SAP tomonidan suv molekulalarining ajralishi orqali hosil qilinadi. (1)-(3) tenglamalar [35] plazma yordamida gidroksid radikalining hosil bo‘lishini ko‘rsatadi.

$$O + H_2O \rightarrow 2OH \quad (1)$$

$$H_2O + O_3 \rightarrow O_2 + 2OH \quad (2)$$

$$H_2O + e \rightarrow OH + H + e \quad (3)$$

Reaktiv kislorod zarralarining (RKZ) ustun turlaridan va UB nurlanishdan tortib erkin radikal turlar, gidroksidlar, peroksidlar, azot oksidlari va ozongacha bo‘lgan SAP reaktiv turlarining o‘ldiruvchi kombinatsiyasi orqali bakteriyalar sirtini yo‘q qilish yo‘li bilan ularni o‘ldirish (inaktivatsiya qilish) xossalari kuzatilgan.

SAP yangi mahsulotlarning tashqi qatlamidagi patogenlarni inaktivatsiya qilishda samarali bo‘lishi isbotlangan. 1-jadvalda turli oziq-ovqat orqali yuqadigan mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilish uchun SAP bilan ishlov berishning samaradorligi yuzasidan qisqacha umumiy ko‘rinish berilgan. Albertos, Martín-Diana, Cullen, Tiwari, Ojha, Bourke, Álvarez va Rico [36] tomonidan yangi makrel (Scomber scombrus) filetosiga dielektrik to‘siqli razryad (DTD) plazmasining ta’siri yuzasidan olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, SAP baliqda sut kislotasi bakteriyalari, *pseudomonas* va *aerob psixrotrofik* bakteriyalar kabi buzilish bakteriyalarini kamaytirish uchun mumkin bo‘lgan alternativ hisoblanadi. Mualliflar [36] shuningdek, SAP yog‘li baliqlarda buzilish bakteriyalarini kamaytirishda samarali bo‘lganini va mikroblarni inaktivatsiya qilish uchun plazma kuchlanishi va ishlov berish vaqti muhim parametrlar ekanini qayd etishdi. Biroq, ular SAP bilan ishlov berish baliqda lipid oksidlanishini tezlashtirganini va kelajakdagi tadqiqotlarda antioksidantlar va SAP ni birgalikda qo‘llash orqali lipid oksidlanishini kamaytirish imkoniyatlarini o‘rganishni taklif qilishdi.

Bußler, Herppich, Neugart, Schreiner, Ehlbeck, Rohn va Schlüter [13] sovuq atmosferaviy plazma bosimining no‘xat fiziologiyasi va glikozid flavonollari (Pisum sativum "Salamanca") ga ta’sirini o‘rganganlar. Ular SAP dan foydalanish qishloq xo‘jaligi mahsulotlaridagi qimmatli ikkilamchi o‘simlik metabolitlarini o‘zgartirishi mumkinligini aniqlashdi. Bundan tashqari, ular SAP issiqlikka sezgir oziq-ovqat mahsulotlaridagi patogen mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilishini kuzatishdi. Biroq, SAP bilan ishlov berish nihollarda fotosintez qobiliyatini kamaytirgan, lekin no‘xatda flavonoid glikozidlar konsentratsiyasini oshirgan, bu esa mualliflar tomonidan yuqori darajadagi UB nurlanishi va ta’sir vaqti bilan izohlangan. Mualliflar [13] SAP texnologiyasini qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini

ISSN 3030-3907

yig‘im-terimdan keyingi qayta ishlashda muhim ikkilamchi o‘simlik metabolitlarini selektiv o‘zgartirish maqsadida qo‘llash imkoniyatini taklif qilishdi.

Grzegorzewski, Ehlbeck, Schlüter, Kroh va Rohn [37] sovuq atmosferik plazma (SAP) bilan ishlov berilgan qo‘zi salat barglari (Valerianella locusta) ning fenolik profili yuzasiga ta’sirini o‘rgandilar. Qo‘ylachan salat barglarini SAP tsir ettirish fenolik kislotalar va flavonoidlarga salbiy ta’sir ko‘rsatdi. SAP bilan ishlov berish qo‘ylachan salat bargidagi fenolik kislotalarning sezilarli darajada kamayishiga olib keldi. Biroq, fenolik kislotalarning kamayishi SAP ta’sirida flavonoidlarning parchalanishiga nisbatan sekinroq kechgan. Ular [37] har xil reaktiv plazma turlarining o‘zaro ta’siri fenolik kislotalar va flavonoidlarning parchalanishiga sabab bo‘lganini, biroq bu salat bargi yuzasidagi foto- yoki issiqlik desorbsiyasi o‘zgarishlari bilan bog‘liq emasligini taklif qildilar. Fenolik kislotaning kamaygan darajasiga qaramay, qo‘zi salat bargi (Valerianella locusta) ga plazma bilan ishlov berishda diosmetinning sezilarli darajada ko‘payishi aniqlangan.

Min, Roh, Niemira, Sites, Boyd va Lacombe [38] dielektrik to‘siqli razryad (DTD) atmosferaviy SAP ishlovining *Tulane* virusi, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* va *Listeria monocytogenes* bakteriyalarini inaktivatsiya qilishga ta’sirini o‘rgandilar. *Listeria monocytogenes, Salmonella, E. coli* O157:H7 va *Tulane* virusi bilan inokulyatsiyalangan romein salat barglari modifikatsiyalangan atmosferali qadoqlash (MAQ), Petri idishlari va paketli barglarga joylashtirildi va 5% yoki 10% azot bilan kislorod bilan yuvib chiqildi. Qadoqlangan salat bargi namunalari keyin 34.8 kV da 5 daqiqa davomida atmosferaviy DTD SAP bilan ishlov berildi va 4 °C da darhol yoki 24 soat saqlangandan so‘ng tahlil qilindi. DTD SAP ishlovi *E. coli O157:H7* ni taxminan 1.1 log CFU, *L. monocytogenes* bakteriyasini taxminan 1.0 log CFU, va *Tulane* virusini taxminan 1.3 log PFU/g darajada ingibitsiya qildi. Biroq, mualliflar [38] MAQ usuli dielektrik to‘siqli razryad orqali hosil qilingan atmosferaviy SAP ishlovi uchun mos emasligini, bu qadoqlashga qo‘shilgan N_2 va O_2 ning o‘zaro ta’siri bilan bog‘liq ekanligini aniqladilar.

1-jadval.

Sovuq atmosferik plazma (SAP) bilan ishlov berishning oziq-ovqat mahsulotlariga ta’siri bo‘yicha umumiy ko‘rinish.

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
No‘xat	Dielektrik to‘siqli razryad	6–12 kV/20 MHz/5 min/elektrodl	Ko‘chatlarning fotosintetik samaradorligi	-	[13]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
		ar orasidagi masofa 20 mm	ni pasaytirdi va flavonoid glikozidlar kontsentratsiyasini o‘zgartirdi		
Ko‘k qorag‘at (Blueberries)	Atmosfer bosimli plazma oqimi	47 kHz/549 W/Havo	60 s dan keyin qattiqlikni sezilarli darajada pasaytirdi. Qattiqlikni sezilarli pasaytirdi. Yuzaki rangga ta'sir qildi.	Yangi ko‘k yong‘oqdagi tabiiy mikroflora populyatsiyasini kamaytirdi. Achitqi va mog‘or sonini kamaytirishda samarali bo‘lmadi.	[14]
Jigarrang guruch	Dielektrik to‘siqli razryad	15 kHz/250 W/5–20 min/havo/elektrodlar orasidagi masofa 3 cm	pH va qattiqlikni pasaytirdi. Jigarrang guruchning L* qiymatini oshirdi va a* hamda b* qiymatlarini pasaytirdi.	Bakteriyalarni taxminan 2.3 log CFU/g ga kamaytirdi. Bacillus cereus, Bacillus subtilis, E.coli O157:H7 va umumiy aerob bakteriyalar soni sezilarli pasaydi.	[15]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
Qizil chikoriy (radicchio)	Dielektrik to‘siqli razryad	15 kV/12.5 kHz/15–30 min/1.5 mm/havo/elektrodlar orasidagi masofa 0.15 cm	Antioksidant faollik va mahsulotning tashqi ko‘rinishiga sezilarli ta'sir qilmadi.	E. coli O158:H7 (1.35 log10 MPN/g)/L. monocytogenes (2.2 log10 CFU/g) sonini kamaytirdi.	[16]
Ko‘k qorag‘at (Blueberries)	Dielektrik to‘siqli razryad	80 kV va 1 A 5 min./elektrodlar orasidagi masofa 35 mm	Qattiqlikni sezilarli pasaytirdi. Ko‘k yong‘oq rangini o‘zgartirdi, lekin bu davolanmaganlardan statistik jihatdan farq qilmadi. Umumiy polifenol, flavonoid, askorbin kislota va antosianin miqdorini yuqori kuchlanish va uzoq ta'sir vaqtida pasaytirdi. Pestitsid qoldiqlarini (Boscalid va	-	[17]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
			Imidacloprid) sezilarli darajada yo‘q qildi. Fenosalid uchun 70–80% va imidacloprid uchun 80% yo‘q qilish samaradorligi kuzatildi.		
Cherri pomidorlari	Dielektrik to‘siqli razryad	100 kV/150 sek/havo/elektrodlar orasidagi masofa 4.5 cm	Rang, qattiqlik, pH va umumiy eruvchan qattiq moddalarga sezilarli ta'sir qilmadi.	E. coli va Listeria innocua sonini 3.5 log CFU/g ga kamaytirdi. Mezofillarni, achitqi va mog‘orni 3.5 log birlikka kamaytirdi.	[18]
Yangi skumbriya (mackerel)	Dielektrik to‘siqli razryad	80 kV/5 min/elektrodlar orasidagi masofa 35 mm	Lipid oksidlanishi sodir bo‘ldi. Rangda o‘zgarishlar bo‘lmadi.	Umumiy aerob psixrotrof, Pseudomonas va sut kislotali bakteriyalar sonini kamaytirdi.	[36]
Qo‘zi salat bargi	Atmosfer bosimli plazma oqimi	27.12 MHz/2 min./argon	Fenol kislotalar va flavonoidlarg	E. coli 1.1 log CFU/g ga kamaydi. Modifikatsiya	[37]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
(Lamb lettuce)			a salbiy ta'sir ko‘rsatdi.	langan atmosfera qadoqlash (MAP) E. coli inaktivatsiya tezligini pasaytirdi.	
Romayn salat bargi (Romaine lettuce)	Dielektrik to‘siqli razryad	47.6 kV va 1 A 5 min./elektrodlar orasidagi masofa 30 mm	Kuyish, so‘lish va rang o‘zgarishi belgilari kuzatilmadi.	Salmonella 0.6 log CFU/g ga kamaydi. Listeria monocytogenes 0.8 log CFU/g ga kamaydi. Tulane virusi suv bug‘lanishi bilan yoki bo‘lmasdan salatda 1.5 log PFU/g ga kamaydi.	[38]
Turp ko‘chatlari (Radish sprouts)	Mikroto‘lqinli plazma	2.45 GHz/900 W/669 Pa/10 min/N_2	Tashqi ko‘rinish, hid va antioksidant faollikka salbiy ta'sir ko‘rsatmadi. Radish sprout ekstraktining 20 min plazma	Salmonella Typhimurium sonini 1.8 log CFU/g ga kamaytirdi.	[39]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
			davolashdan keyin so‘lishiga ta'sir qildi.		
Qizil chikoriy (Red chicory)	Dielektrik to‘siqli razryad	19.15 V/3.15 A/15 min/elektrodlar orasidagi masofa 2.0 sm	Rang, yangilik va tuzilishga zararli ta'sir ko‘rsatmadi. Saqlash vaqtida hid va umumiy qabul qilish qobiliyati biroz pasaydi.	L. monocytogenes sonini 4 log CFU/g dan ortiqqa kamaytirdi. VTEC (E. coli) ni 5 log10 dan ortiqqa kamaytirdi.	[40]
Romayn salat bargi (Romaine lettuce)	Dielektrik to‘siqli razryad	42.6 kV/1.5 A/10 min/havo/elektrodlar orasidagi masofa 5.0 sm	Morfologiya, rang, nafas olish tezligi va vazn yo‘qotishida sezilarli o‘zgarishlar kuzatilmadi.	E. coli O157:H7 (0.4 – 0.8 log10 CFU/g) ni ayrim qatlam konfiguratsiyalarida kamaytirdi. Umumiy qatlamdagi bakteriyalarni 1.1 log10 CFU/g ga kamaytirdi.	[41]
Teri olib tashlangan tovuq ko‘kragi va soni (Skinless	Dielektrik to‘siqli razryad	30 kV va 1 A 3 min.	Reaktiv kislorod turlari ta'sirida lipid oksidlanishini induksiya qilganligi	Salmonella enterica va Campylobacter jejuni sonini 1.3 dan 1.8 log CFU/g ga,	[42]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiyotlar
chicken breast and chicken thigh with skin)			sababli ozuqaviy sifat va saqlash muddatini pasaytirdi.	terili va terisiz tovuqda taxminan 2.5 log CFU/g ga kamaytirdi. Umumiy fon mikroflorasini kamaytirdi.	
Xom cho‘chqa go‘shti (Raw pork loin)	Dielektrik to‘siqli razryad	3 kV, 30 kHz/10 min./3 mm DBD aktuator va sample/He or He + O_2	pH ni pasaytirdi. Rang va hidni o‘zgartirdi. Reaktiv kislorod turlari ta'sirida lipid oksidlanishini induksiya qilganligi sababli ozuqaviy sifat va saqlash muddatini pasaytirdi. Rang, hid va qabul qilish qobiliyatiga sezilarli ta'sir ko‘rsatdi.	E. coli ni 0.55 log CFU/g ga va L. monocytogenes ni 0.59 log CFU/g ga kamaytirdi.	[43]
Mol go‘shti jerky (Beef jerky)	Radiochastotali atmosfer bosimli plazma	20,000 sccm /200 W/3 min./argon	Yog‘ kislotalari tarkibi va sensor sifatlarda (masalan,	Staphylococcus aureus sonini 3–4 log CFU/g ga kamaytirdi.	[44]

ISSN 3030-3907

Mahsulot	Plazma turi	Plazma parametrlari	Fizik-kimyoviy ta'sirlar	Mikrobial ta'sirlar	Adabiy otlar
			yog‘lilik) ozgina o‘zgarishlar kuzatildi.		

Oh, Song va Min [39] mikroto‘lqinli SAP bilan ishlov berishning *Salmonella typhimurium* bakteriyasini inhibitsiyalash va redis nihollarining xususiyatlariga ta’sirini o‘rgandilar. SAP mikroto‘lqinli generatorida 900 Vt quvvat va taxminan 667 Pa bosimda 1-20 daqiqa davomida azot gazi ishlatilgan. 10 daqiqa davomida optimallashtirilgan ishlov natijasida *Salmonella typhimurium* miqdori 1.8 log CFU/g ga kamaygan. Biroq, ko‘rinishi va hidi salbiy ta’sirga uchramagan. SAP bilan 4 °C dan 10 °C gacha haroratda ishlov berilganidan so‘ng, yopiq plastik to‘siqli qadoqlarda saqlangan redis nihollarida *Salmonella typhimurium* o‘sishi kuzatilmagan, shuningdek, suv sifati, rangi, antioksidant faolligi yoki askorbin kislotasiga ham ta’sir qilmagan.

Mualliflar SAP ning redis nihollaridagi *Salmonella typhimurium* bakteriyasini inaktivatsiya qilishda sensor xususiyatlarini o‘zgartirmasdan foydalanish imkoniyati mavjudligini xulosa qilishgan. Ularning fikricha, SAP bilan ishlov berilgan redis nihollarini sovuq haroratda yopiq plastik namlik to‘siqli qadoqlarda saqlash foydalidir va bu boshqa sabzavot nihollari uchun ham mos bo‘lishi mumkin.

Ziuzina, Misra, Cullen, Keener, Mosnier, Vilaró, Gaston va Bourke [18] ochiq havoda ishlaydigan dielektrik to‘siqli razryad plazma reaktori (SAFEBAG sinov qurilmasi, Dublin Texnologiya Instituti, Dublin, Irlandiya) ning *Escherichia coli, Listeria innocua* va gilos pomidorining mahalliy mikroflorasi (qadoqlanganidan keyin) ga qarshi antimikrobiyal samaradorligini o‘rgandilar. Gilos pomidor sifati uzoq saqlash davomida ham baholandi. SAP bilan uzluksiz ishlov berish siklidan so‘ng *E. coli* va *Listeria innocua* miqdori o‘rtacha 3-5 log CFU/g ga kamaygani kuzatildi. Statik rejimda esa mahalliy mikroflora (mezofillar, xamirturush va mog‘or) 3.5 log CFU/g gacha kamaygan. Rang (L, a*, b*), mahkamlik, pH va umumiy eriydigan qattiq moddalarda sezilarli o‘zgarishlar qayd etilmagan. Ular xulosa qilishdiki, sinov darajasidagi qadoq ichidagi SAP tizimi statik va uzluksiz SAP ishlov metodlari davomida oziq-ovqat qadoqlariga razryadlarni yo‘naltirishi mumkin. Mualliflar, shuningdek, bakteriya turi (Gram-musbat va Gram-manfiy), hujayra kontsentratsiyasi va ishlov usuli kabi omillar dezinfeksiyalash samaradorligiga ta’sir ko‘rsatishini va SAP texnologiyasining har

ISSN 3030-3907

qanday sanoat sozlamalarida optimal ishlov berishni ta’minlash uchun muhim ahamiyatga ega bo‘lishi kerakligini ta’kidladilar.

SAP ning ingibitor ta’siri, shuningdek, yuza faol modda (surfaktant) va sut kislotasining *L. monocytogenes* va verotoksin ishlab chiqaruvchi *E. coli* ga qarshi ta’siri Trevisani, Berardinelli, Cevoli, Cecchini, Ragni va Pasquali [40] tomonidan qizil tsikoriyda o‘rganilgan. Qizil tsikoriyga SAP bilan ishlov berishdan oldin uni yuza faol modda, sut kislotasi yoki NaCl saqlovchi eritma bilan oldindan yuvish amalga oshirilgan, so‘ngra deionlangan suv bilan chayilgan. SAP ishlov berish parametrlari 19.15 V va 3.15 A da 15 daqiqa davomida qo‘llanilgan. Mualliflar [40] aniqlashicha, qizil tsikoriy barglarini SAP ishlovidan oldin surfaktant bilan yuvish VTEC miqdorini 2.89 log CFU/g ga kamaytirgan, sut kislotasi + surfaktant bilan oldindan yuvish esa VTEC miqdorini 4.78 log CFU/g ga kamaytirgan. Sut kislotasi va surfaktant bilan oldindan yuvilgan qizil tsikoriyda *L. monocytogenes* miqdorining 4 log CFU/g dan ortiq kamaygani kuzatilgan. Rang, ta’m yoki sifatda salbiy ta’sirlar aniqlanmagan. Saqlash vaqtida hid va umumiy iste’mol qabul qilinishi biroz kamaygan. Ular xulosa qilishicha, surfaktant, sut kislotasi va SAP bilan ishlov berishning sinergetik ta’siri umumiy bakteritsid samaradorlikni oshirgan. Surfaktant va sut kislotasi bilan oldindan yuvish erkin harakatlanuvchi bakteriyalar sonini kamaytirgan.

Radicchio barglarini dezinfeksiyalash maqsadida Pasquali, Stratakos, Koidis, Berardinelli, Cevoli, Ragni, Mancusi, Manfreda va Trevisani [16] dielektrik to‘siqli SAP razryadining samaradorligini *E. coli* O157:H7 va *L. monocytogenes* ga qarshi baholaganlar. Barglar mikroblarni kamaytirish, antioksidant faollik va sezgirlik xususiyatlari bo‘yicha sifat jihatidan baholangan. *E. coli* O158:H7 miqdorining (taxminan 1.4 log10 CFU/g) va *L. monocytogenes* miqdorining (taxminan 2.0 log10 CFU/g) 15 va 30 daqiqalik ishlovdan keyin kamaygani kuzatilgan. Yuqorida nomi keltirilgan mualliflarning fikriga ko‘ra, *L. monocytogenes* uchun uzoqroq ishlov berish vaqti SAP dielektrik to‘siqli razryad tizimidan foydalangan boshqa tadqiqotlar natijalari bilan o‘xshash. Bundan tashqari, gram-musbat bakteriyalar (*L. monocytogenes*) gram-manfiy bakteriyalarga (*E. coli* O158:H7) nisbatan SAP ga kamroq ta’sirchan bo‘lgan. SAP bilan ishlov berilgan radicchio barglarida antioksidant faollikda sezilarli kamayish kuzatilmagan. Mualliflar [16] SAP tizimining ozuqaviy sifatiga salbiy ta’sirni (masalan, Chroma C* rangi va saqlashdan keyingi sezgirlik xususiyatlarining sezilarli kamayishi) kamaytirish uchun uskunaning yaxshilangan konfiguratsiyasi zarurligini ta’kidlaganlar.

Min, Roh, Niemira, Boyd, Sites, Uknalis va Fan [41] *Escherichia coli* O157:H7 bakteriyasini inaktivatsiya qilishda SAP ning samaradorligini o‘rgandilar. Ular, shuningdek, dielektrik to‘siqli razryad SAP ning umumiy romein

ISSN 3030-3907

salat barglarining sirt morfologiyasi, yorqinligi va dioksid hosil bo‘lishiga ta’sirini ham tadqiq etdilar. Oldindan yuvilgan va quritilgan kesilgan barglar 1, 3, 5 yoki 7 qatlamli holda yig‘ilgan tarzda uch qatorga joylashtirilgan tijorat qobiqli konteynerlarga joylanib, muhrlangan. Mualliflar [41] atmosferaviy dielektrik to‘siqli razryad SAP *Escherichia coli* O157:H7 bakteriyasini bir nechta barg qatlamlarida ingibitsiya qilganini xabar qilishdi. Ularning tahliliga ko‘ra, *Escherichia coli* O157:H7 bakteriyasi 1, 3 va 5 qatlamli barglarda ingibitsiya qilingan, biroq 7 qatlamli barglarda emas. Mualliflar xulosa qilishlaricha, konteynerdagi bo‘shliq hajmi muhrlangan konteynerlar bilan ishlov berishda muhim omil hisoblanadi. Muhrlangan idishdagi havo bo‘shlig‘i SAP reaktiv turlarining namunaga bir xil tarqalishini ta’minlagan. Barglarning zarracha o‘lchami, yorqinligi, kislorod to‘yinganligi va massa kamayishida sezilarli o‘zgarishlar aniqlanmagan.

Escherichia coli O157:H7, *Bacillus cereus* va *Bacillus subtilis* bakteriyalariga ochiq havodagi dielektrik plazma razryadi reaktori yordamida ishlov berishning antimikrobiyal samaradorligi haqida Lee, Kim, Woo, Jo, Kim J, Kim S, Park, Oh va Kim [15] hisobot bergan. Ular SAP bilan ishlov berish jigarrang guruchdagi mikroblarni dezinfeksiyalashni yaxshilashi mumkinligini aniqlashgan. Boshqa tadqiqot natijalari [16] bilan mos ravishda gram-musbat *Bacillus cereus* va *Bacillus subtilis* bakteriyalarini inaktivatsiya qilish gram-manfiy *Escherichia coli* O157:H7 bakteriyasiga qaraganda uzoqroq vaqt talab qilgan. SAP bilan ishlov berish suv yutilishi va α-amilaza faolligini yaxshilagan, biroq jigarrang guruchning pH va qattiqligini kamaytirgan. Mualliflar [15] xulosa qilishicha, SAP texnologiyasidan foydalanish mikrobiologik xavfsizlikni saqlashda samarali bo‘lib, jigarrang guruchning tuzilmaviy sifatini yaxshilagan.

Lacombe, Niemira, Gurtler, Fan, Sites, Boyd va Chen [14] ko‘k mevalarda SAP bilan aerob bakteriyalarni ingibitsiyalash va bu ishlovning sifat xususiyatlariga ta’sirini o‘rgangan. Tadqiqot SAP ning umumiy aerob son, xamirturush/mog‘or, umumiy antosiyanin miqdori va ko‘k mevalarning mahkamligiga ta’sirini aniqlash maqsadida olib borilgan. SAP bilan ishlov berilgan yangi ko‘k mevalar 4 °C da 7 kun saqlanganida mikroflora soni sezilarli kamaygan. 60 soniyadan keyingi SAP ishlovi siqilishdagi mahkamlikni, 90 soniyadan keyingi ishlov esa antosiyanin miqdorini sezilarli kamaytirgan. Ushbu tadqiqotda SAP bilan ishlov berish xamirturush va mog‘or miqdorini kamaytirishda muvaffaqiyatli bo‘lmagan. Bundan tashqari, uzoq ishlov sirt rangiga (L* va a*, b* qiymatlari) ta’sir ko‘rsatgan. Mualliflar [14] o‘z tadqiqotlarida SAP tajriba darajasida ko‘k mevalardagi mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilishi mumkinligini xulosa qilishgan. Ular, shuningdek, ushbu texnologiyani pilot va sanoat darajasida, an’anaviy majburiy havo bilan sovitish jarayonlarini qo‘llagan holda, ko‘k mevalar

ISSN 3030-3907

va boshqa mayda mevalarni optimallashtirilgan dezinfeksiya qilish uchun joriy qilishni taklif qilishgan.

Sarangapani, O'Toole, Cullen va Bourke [17] sovuq atmosferik plazmaning ko'k mevalardagi agroximikatlarga ta'sirini baholaganlar. Tadqiqot, shuningdek, muhim ozuqaviy va fizik sifat ko'rsatkichlariga har qanday asosiy ta'sirlarni ham o'rgangan. Ushbu tadqiqotda Boscalid va Imidacloprid pestitsidlari qo'llanilgan. Tadqiqot uchun yuqori kuchlanishli dielektrik to'siqli plazma razryad reaktori ishlatilgan. 80 kV kuchlanishda 5 daqiqa davomida SAP bilan ishlov berish natijasida pestitsidlarni kamaytirish samaradorligi boscalid uchun taxminan 80%, imidacloprid uchun esa 75% bo'lgan. Ular [17] pestitsidlarning parchalanishida asosiy rol o'ynovchi turlar — ozon va gidroksil radikallari ekanini taxmin qilishgan. 1 daqiqa davomida ishlov berilganidan so'ng ko'k mevalarda umumiy flavonoidlar va fenollar miqdorining sezilarli ortishi, rang va mahkamlik kabi fizik-kimyoviy xossalarga jiddiy ta'sir ko'rsatmagan. Biroq, uzoq davom etgan plazma ishlovi askorbin kislotaning sezilarli darajada kamayishiga olib kelgan. Mualliflar xulosa qilishicha, SAP, foydali nutraseytik xususiyatlarni saqlab qolgan holda, yangi mahsulotlarda agroximikatlarni kamaytirish va mikroblarni inaktivatsiya qilish uchun istiqbolli texnologiya hisoblanadi.

Dirks, Dobrynin, Fridman, Mukhin, Fridman va Quinlan [42] SAP dielektrik to'siqli razryad plazmasining terisiz, suyaksiz tovuq filesi va terili tovuq son qismidagi mikroblarni zararsizlantirish samaradorligini o'rganganlar. Antibiotikga chidamli *Salmonella enterica* va *Campylobacter jejuni* shtammlari terisiz suyaksiz tovuq filesi va terili tovuq sonlariga inokulyatsiya qilinib, ular atmosferaviy bosimda SAP bilan ishlov berilgan. *Salmonella enterica* va *Campylobacter jejuni* bakteriyasini kamaytirish bo'yicha maksimal natijalar har ikki namunada 3 daqiqa plazma ishlovidan so'ng kuzatilgan. Tovuqlarning son qismida 1.3 dan 1.8 log CFU gacha, filesida esa taxminan 2.5 log CFU gacha kamayish kuzatilgan. Ular, shuningdek, bor-yo'g'i 30 soniyalik ishlovdan so'ng tovuq filesi va son qismidagi mikroflora tarkibining kamayganini ham qayd etishgan. Biroq, ushbu issiqliksiz dielektrik to'siqli razryad plazma tizimini parranda go'shtiga qo'llashda bir nechta cheklovlar aniqlangan. Birinchisi — tekis sirt zarurati bo'lib, bu tovuq filesi va son qismlarida erishish qiyin bo'lgan. Problarning o'lchamining cheklanganligi va energiyali zarrachalarning neytral reaktiv kislorod bilan reaksiyaga kirishishi natijasida yog'larning oksidlanishi ham salbiy holat sifatida qayd etilgan.

Kim, Yong, Park, Choe va Jo [43] dielektrik to'siqli razryad plazmasining patogenlarni ingibitsiyalash, sezgirlik xususiyatlari va xom cho'chqa go'shti filelarining fizik-kimyoviy xususiyatlariga ta'siri bo'yicha maqola chop etishdi. Antibiotikga chidamli *E. coli* O157:H7 va *L. monocytogenes* shtammlari 10^1 dan 10^4 CFU/g gacha darajada inokulyatsiya qilinib, shuningdek tayyorlangan

ISSN 3030-3907

cho‘chqa filelariga surtilgan. Dielektrik to‘siqli razryad plazmasida ishlatilgan gazlar He va He + O_2 bo‘lib, ishlov berish muddati 5 va 10 daqiqa bo‘lgan. 10 daqiqalik He va He + O_2 bilan SAP ishlovidan so‘ng *E. coli* miqdori 0.55 log CFU/g gacha kamaygan. *Listeria monocytogenes* miqdori ham 10 daqiqalik ishlovdan so‘ng 0.59 log CFU/g gacha kamaygan. Rangi bo‘yicha aniq o‘zgarishlar kuzatilmagan, biroq pH da sezilarli kamayish aniqlangan. Bundan tashqari, SAP bilan ishlov berilgan namunalarda sezgirlik sifat ko‘rsatkichlarida sezilarli pasayish kuzatilgan. Xulosa qilinishicha, dielektrik to‘siqli razryad plazma qurilmasi cho‘chqa filelarida oziq-ovqat orqali yuqadigan patogenlarni inaktivatsiya qilish orqali dezinfeksiyalash uchun ishlatilishi mumkin, biroq sezgirlikning yomonlashuvini kamaytirish uchun qo‘shimcha tadqiqotlar zarur.

Kim, Lee, Choi va Kim [44] radiochastotali (RF) atmosferaviy bosimli plazmani mol go‘shtidan tayyorlangan jehrakdagi *Staphylococcus aureus* bakteriyalarni inaktivatsiya qilishda qo‘llash va uning ozuqaviy hamda sezgirlik xususiyatlariga ta’sirini o‘rganishgan. Kiruvchi gaz sifatida argon 20,000 sccm oqim tezligida va 200 Vt quvvatda qo‘llanilgan. 300 °C da 10 daqiqa davomida plazma bilan ishlov berilgach, *Staphylococcus aureus* miqdori namunada 3-4 log CFU/g gacha kamaygan. Yog‘li kislotalar tarkibi, rangi va jehrak namunalarining sof mustahkamligi sezilarli darajada o‘zgarmagan. Xulosa qilinishicha, radiochastotali atmosferaviy bosimli plazma *Staphylococcus aureus* bakteriyalarni samarali ravishda ingibitsiyalashga erishgan va mol go‘shti jehragi tarkibida ozuqaviy va sezgirlik xususiyatlarida deyarli o‘zgarishlar kuzatilmagan.

4. Sovuq atmosferik plazma (SAP) qo‘llanilishining sporalarni inaktivatsiya qilishdagi rivojlanayotgan imkoniyatlari

Turli endosporalarni inaktivatsiya qilish uchun sovuq atmosferik plazma (SAP) qo‘llanilishining rivojlanayotgan imkoniyatlari bir nechta tadqiqotlarda allaqachon hujjatlashtirilgan [45-50]. Boudam, Moisan, Saoudi, Popovici, Gherardi va Massines [45] tomonidan bakterial sporalarni inaktivatsiya qilish uchun atmosferaviy bosimda sovuq plazma razryadi bo‘yicha olib borilgan adabiyot sharhida, reaktiv kimyoviy turlar va UB nurlanish sporalarni bostirish jarayonini boshqarishi qayd etilgan. Bundan tashqari, ma’lum darajada, spora sirtida kislorodli turlar eroziya orqali sporalarni inaktivatsiya qilgan. UB nurlanish muhim bo‘lgan hollarda, UB fotonlari va kislorodli turlar ishtirokidagi kuchaytirilgan yedirish harakati (UB yordamida modda yedirilishi deb ataladi) yuz bergan [45]. Ularning maqolasida [45] xulosa qilinganidek, sporalarni inaktivatsiya qilish muvaffaqiyatli tarzda yoki ustun UB nurlanish orqali, yoki faqat reaktiv turlarning o‘zaro ta’siri orqali amalga oshirilishi mumkin.

Atmosferaviy bosimda ishlovchi radiochastotali (27.12 MHz) argon gazli plazma oqimining *Bacillus atrophaeus* sporalariga va *Escherichia coli*

ISSN 3030-3907

bakteriyasining vegetativ shakliga o‘ldiruvchi ta’siri Brandenburg, Ehlbeck, Stieber, Woedtke, Zeymer, Schlüter va Weltmann [46] tomonidan o‘rganilgan. Mikroorganizmlar namunasi polietilen plastinka (32 × 8 mm²) ustiga inokulyatsiya qilingan va hosil qilingan plazma bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri aloqa qilgan. *Bacillus atrophaeus* 7 daqiqalik SAP ishlovidan so‘ng 5 ta plastinkadan 2 tasida hamon aniqlangan. *Vegetativ Escherichia coli* uchun esa 240 soniyalik plazma oqimi bilan ishlovdan keyin hech qanday mikroblarning o‘sishi kuzatilmagan. Mualliflar maksimal kamaytirish koeffitsientlariga bakteriya turlari hamda bakterial sporalarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri sovuq atmosferik plazma bilan ishlov berish orqali erishilganini xulosa qilishgan. Bundan tashqari, SAP bilan ishlov berishda UB nurlanish va issiqlikning qo‘shilishi kamaytirish koeffitsientlarining pasayishiga hissa qo‘shgan.

Hertwig, Reineke, Ehlbeck, Knorr va Schlüter [47] butun qora murchda *Bacillus subtilis* sporalari, *Bacillus atrophaeus* sporalari va *Salmonella enterica* ni zararsizlantirish uchun ikki xil SAP tizimida o‘rganish olib borishgan. Radiochastotali (RF) plazma oqimi bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri ishlov berish va mikroto‘lqin yordamida hosil qilingan plazma bilan masofaviy ishlov berish usullari qo‘llanilgan. Mualliflar [47] masofaviy SAP ishlovi *S. enterica* va *Bacillus* sporalarini inaktivatsiya qilganini xabar qilishgan. Bevosita CAPP ishlovi esa juda past inaktivatsiya ko‘rsatgan, bu ehtimol murch donachalarining ko‘p bosuvchi xususiyatlari va qattiq sirt xossalari bilan bog‘liq. *Bacillus subtilis* sporalari har ikki SAP tizimiga nisbatan ko‘proq chidamlilik ko‘rsatgan.

Kim, Lee va Min [48] tomonidan *B. cereus* sporalariga SAP bilan ishlov berish bo‘yicha qizil qalampir kukunida olib borilgan tadqiqot *B. cereus* sporalari miqdorida kamayish kuzatilmaganini ko‘rsatgan. Muallif xulosa qilishicha, SAP ning sporalarni inaktivatsiya qilish qobiliyatini to‘liq tushunish uchun gazlar, energiya, qurilma konfiguratsiyasi va namunadagi sirt xususiyatlari kabi murakkab parametrlarni chuqur tahlil qilish zarur.

Lassen, Nordby va Grün [49] hamda Reineke, Langer, Hertwig, Ehlbeck va Schlüter [50] atmosferaviy bosimda hosil qilingan plazma oqimi ta’sirida bacillus sporalarining inaktivatsiyasiga turli jarayon gazlari tarkibining ta’sirini o‘rganishgan. Har ikkala tadqiqot gaz tarkibining bakterial sporalarni sporitsid inaktivatsiya qilishga qanday ta’sir qilishini ko‘rsatgan. Yuqoridagi mualliflar [50] argon/H_2 (RF) plazmasi yordamida 15% argon aralashmasi bilan sporitsid ta’sir hosil bo‘lganini aniqlaganlar. Argon gaziga kislorod (0,135 hajm foizi) va azot (0,2 hajm foizi) qo‘shilganida, mualliflar [49] kuchli sporitsid natijaga erishilganini qayd etishgan. Lassen, Nordby va Grün [49] shuningdek, sporalarni inaktivatsiya qilish UB fotonlarining yuqori intensivlikdagi ta’siri bilan boshqarilishini, UB

ISSN 3030-3907

yo‘qligida esa inaktivatsiya reaktiv va metastabil turlar ta’siri bilan sodir bo‘lishini ta’kidlaganlar.

5. Mikotoksinlarni yo‘q qilish uchun paydo bo‘layotgan SAP bilan ishlov berish

Gavahian va Cullen [51] tomonidan oziq-ovqatdagi mikotoksinlarni yo‘q qilishda SAP texnologiyasining samaradorligi haqida jurnal sharhi chop etilgan. Mikotoksinlar ishlab chiqaruvchi mog‘or zamburug‘lari juda ko‘p tarqalgan bo‘lib, turli xil ekologik sharoitlarda o‘sishi mumkin. Mikotoksinlar bilan oziq-ovqatning ifloslanish darajasi joylashuvga, iqlim sharoitlariga va boshqa salbiy biologik omillarga qarab farq qiladi [52]. Geografik mintaqa, ekstremal harorat, namlik va bug‘lanish darajalari kabi ekologik omillar, kimyoviy substrat tarkibi, bakteriyalar raqobati va hasharotlarning buzilishi kabi omillar zamburug‘larning tabiiy o‘sishini va, natijada, mikotoksinlar ishlab chiqarilishini belgilaydi [53]. Dunyodagi asosiy ekinlarning to‘rtdan bir qismi ma’lum darajada mikotoksinlar bilan ifloslangan deb taxmin qilinadi [53,54]. Mikotoksinlar inson salomatligi uchun atrof-muhit ifloslantiruvchilari, qishloq xo‘jaligi ifloslanishlari, kimyoviy qo‘shimchalar yoki pestitsid qoldiqlaridan ko‘ra yuqoriroq bo‘lgan eng muhim surunkali ovqatlanish xavf omili sifatida tasniflanadi [54,55]. Mikotoksin bilan ifloslangan ozuqa iste’mol qilgan hayvonlar go‘sht va sutda zaharli qoldiqlar ishlab chiqaradi va bu moddalarning ba’zilari yanada toksik shakllarga aylanadi [56]. Xalqaro Saraton Tadqiqot Agentligi (IARC) Aflatoksin B1 ni insonlar uchun kanserogen deb e’lon qilgan. Hayvonlar bilan o‘tkazilgan saraton tadqiqotlari aflatoksin M1 ham xuddi aflatoksin B1 kabi saratonni keltirib chiqarishini ko‘rsatgan. Xalqaro miqyosda nazorat organlari oziq-ovqat va hayvonlar uchun mo‘ljallangan yemlarda ruxsat etilgan mikotoksinlar miqdori bo‘yicha me’yorlarni belgilagan. Ko‘p oziq-ovqat mahsulotlarida aflatoksinlar nisbatan barqaror bo‘lib, sterilizatsiya, juda yuqori haroratli ishlov berish, pishirish va hatto sovutilgan haroratda saqlash kabi issiqlik bilan ishlov berishga nisbatan chidamli bo‘ladi [57]. Deoksinivalenol, Zearalenon va T-2 toksinlari *Fusarium* turidagi zamburug‘lar tomonidan ishlab chiqariladi, ular odatda g‘alla va unga tegishli mahsulotlarni dalada yoki saqlash paytida zararlaydi. Kimyoviy jihatdan, T-2 toksinlari va deoksinivalenol trixotesenlar sinfiga kiruvchi mikotoksinlar hisoblanadi. Deoksinivalenol ehtimol asosiy va eng keng tarqalgan g‘alla ifloslantiruvchisidir [58]. Deoksinivalenol butun dunyo bo‘ylab, shu jumladan Kanada va AQShda oziq-ovqat va yem mahsulotlarida keng tarqalgan. T-2 toksin kabi boshqa trixotesenlar singari, deoksinivalenol ham oziq-ovqatdagi zaharli modda hisoblanadi [59]. Yuqorida aytib o‘tilganidek, ko‘plab mikotoksinlar pishirish va pasterizatsiya kabi issiqlik bilan ishlov berishga chidamli bo‘lib, SAP ni mikotoksin parchalanishida qo‘llash salomatlik uchun xavfsiz g‘allaga asoslangan mahsulotlarni ta’minlashda istiqbolli usul hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

SAP bilan o‘tkazilgan tadqiqotlar zamburug‘ o‘sishini inhibitsiyalash va mikotoksinlarni parchalanish imkoniyatlarini ko‘rsatgan. Yer yong‘og‘i, inson va hayvon iste’moli uchun mo‘ljallangan don mahsulotlari, maltlangan arpa urug‘lari, makkajo‘xori, funduk va xurmo ustida olib borilgan tadqiqotlar SAP ning zamburug‘larni inaktivatsiya qilish va bir nechta mikotoksinlarni parchalatish salohiyatini namoyon qilgan [60-66]. SAP ning zamburug‘larni yo‘q qilish va mikotoksinlarni parchalanishida yangi qo‘llanilishi butun dunyo bo‘ylab mikotoksinsiz mahsulotlarni ta’minlashda juda foydali bo‘ladi.

6. SAP ning cheklovlari va salbiy ta’sirlari

SAP bilan ishlov berilgan oziq-ovqat mahsulotlarining sezgirlik va ozuqaviy xususiyatlariga salbiy ta’siri, albatta, SAP jarayonlari va jihoz konfiguratsiyalarini ishlab chiqishda muammo tug‘diradi. SAP tarkibida mavjud bo‘lgan reaktiv kislorod zarralari (RKZ) go‘sht to‘qimalari va baliqda lipid oksidlanishini keltirib chiqaradi, bu esa lipidlarning parchalanishi va oksidativ achishuvning rivojlanishi orqali iste’mol qilishga yaroqliligini va saqlash muddatini salbiy ta’sirga uchratadi. SAP shuningdek, sharbatlarda kuchli polimerlangan oligosaxaridlarning parchalanishiga ham olib keladi, ayniqsa uzoq muddatli ishlovdan so‘ng. Almeida, Cavalcante, Cullen, Frias, Bourke, Fernandes va Rodrigues [67] oligosaxaridlarning parchalanishi asosan ozonolizis orqali sodir bo‘lishini taklif qilishgan. Ozonolizis glikozid bog‘larining uzilishi, makromolekulalarning depolimerizatsiyasi va funksional guruhlarning oksidlanishini keltirib chiqargan. Shunga qaramay, SAP bilan ishlov berilgandan so‘nggi oligosaxaridlarning parchalanish darajasi ularni prebiotiklar sifatida tasniflashga yetarli bo‘lgan. Oligosaxaridlarning SAP qo‘llanilishi va ozon hosil bo‘lishi orqali parchalanish mexanizmini yaxshiroq tushunish uchun qo‘shimcha tajribalarni o‘tkazish zarur. Agar SAP asosiy oziq-ovqat ilovalarida qo‘llanilishi kerak bo‘lsa, lipid oksidlanishi va oligosaxaridlarning parchalanish mexanizmlarini to‘liqroq tushunish zarur.

7. Oziq-ovqat xavfsizligiga oid hukumat tartib-qoidalari

Kanada Oziq-ovqat inspeksiyasi agentligi (CFIA) tomonidan o‘n nafar federal qonun va 23 ta qonunlar to‘plami amalga oshiriladi. Ushbu qonun va qoidalar Kanadada sotiladigan oziq-ovqat mahsulotlarining sifati va xavfsizligini himoya qilish, shuningdek, hayvonlar va o‘simliklar uchun barqaror resurs bazasini rag‘batlantirishni tartibga soladi. CFIA o‘zining asosiy rollarini boshqa Kanada federal hukumati bo‘limlari va agentliklari, mintaqaviy, hududiy va mahalliy hokimiyatlar, xususiy sektor va boshqa manfaatdor tomonlar bilan baham ko‘radi. CFIA hamkorlari bilan birgalikda quyidagi faoliyatlarni amalga oshiradi: oziq-ovqat xavfsizligi choralari ijrosini ta’minlash; oziq-ovqat, hayvonlar va o‘simliklar bilan bog‘liq xavf-xatarlar, hodisalar va favqulodda vaziyatlarni boshqarish;

ISSN 3030-3907

hamda yuqori sifatli Kanada qishloq xo‘jaligi, chorvachilik, akvakultura va baliqchilik mahsulotlari xavfsizligini ta’minlash uchun oziq-ovqat xavfsizligi va kasalliklar nazorati tizimlarini qo‘llab-quvvatlash. CFIA qarorlari yuqori sifatli, aniq va ilmiy asoslangan tadqiqotlarga asoslanadi. Bilim, ko‘rsatmalar, xavf boshqaruvi, xalqaro standartlar ta’siri, tadqiqot va ishlanmalar, sinovlar orqali siyosat ishlab chiqish va dasturlarni loyihalash va amalga oshirishda yordam beriladi [68]. Yangi paydo bo‘layotgan texnologiyalar nuqtai nazaridan yuqori bosimli ishlov berish (HPP), mikroto‘lqinli qizdirish (MWH) va ultrabinafsha nur (UB) butun dunyo bo‘ylab keyingi 5 yil davomida asosiy texnologiyalar sifatida qo‘llanilgan va qo‘llanilishi kutilmoqda. 10 yil ichida esa sovuq atmosferik plazma (SAP) va impulsli elektr maydonlari (PEF) Yevropada dolzarb texnologiyalarga aylanishi prognoz qilinmoqda, shu bilan birga HPP, mikroto‘lqin va UB Shimoliy Amerikada dolzarbligicha qoladi [69].

8. Tadqiqotlar xulosasi va kelajakdagi izlanishlar

Ushbu sharhga kiritilgan ko‘plab tadqiqotlar SAP bilan ishlov berishning mikroblarni inaktivatsiya qilishda samarali ekanligini ko‘rsatdi. Mazkur sharhda muhokama qilingan SAP tizimlarining aksariyati laboratoriya darajasidagi o‘rnatmalardan iborat bo‘lsa-da, bu texnologiyani oziq-ovqat ishlab chiqarish zavodlarida joriy etish imkoniyati mavjud. Biroq, SAP bilan ishlov berilgandan so‘ng ba’zi oziq-ovqat mahsulotlarining sezgirlik xususiyatlari va ozuqaviy qiymatlariga salbiy ta’sirlar kuzatilgan. Ushbu holat SAP qo‘llanilishining ayrim hozirgi cheklovlari, ayniqsa texnologiyaning mahsulotga xos bo‘lishi va juda murakkab kimyoviy o‘zaro ta’sirlar zanjiriga olib kelishi bilan bog‘liq. Oziq-ovqat mahsulotlariga SAP bilan ishlov berish jarayonida hosil bo‘lgan plazma mahsulotga juda yaqin yoki notekis tarqalgan holda yetib borishi mumkin, bu esa mahsulotning fizik va funksional xususiyatlariga ta’sir qilishi mumkin. SAP yuqori elektr maydoni, yuqori energiyali plazma reaktiv turlari va yuqori konsentratsiyadagi UB nurlanishini hosil qiladi, shuning uchun mahsulotning joylashuvi va ta’sir muddati juda muhim ahamiyatga ega.

Qaysi texnika qo‘llanilishidan qat’i nazar, ba’zi o‘zgartirishlar va SAP tizimini takomillashtirish orqali yanada yaxshi natijalarga erishish mumkinligi ayon bo‘ldi. Umuman olganda, SAP dan foydalanish va uning kimyosi juda murakkab bo‘lib, plazma kimyosi va dinamikasini turli texnik qo‘llanmalar uchun yanada chuqurroq tushunish zarur [70]. Jarayonni tahlil qilish uchun yangi plazma manbalarini aniqlash, shuningdek, oziq-ovqatni zararsizlantirish va sifatini yaxshilash uchun zarur bo‘lgan elektronlar, ionlar, radikallar va fotonlar kabi ko‘plab turlarni nazorat qilish va nozik sozlash muhim ahamiyatga ega [70].

9. Xulosa

ISSN 3030-3907

SAP - *Staphylococcus aureus*, *E. coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes, Salmonella Typhimurium* biofilmlari va Bacillus cereus kabi mikroblarga qarshi muhim antimikrob texnologiyadir. SAP bilan ishlov berish oziq-ovqatda yog‘larning oksidlanishini tezlashtirishi va sezgirlik xususiyatlariga salbiy ta’sir ko‘rsatishi kabi kamchiliklarga ega bo‘lsa-da, u oziq-ovqatni zararsizlantirishning juda samarali muqobil usuli sifatida o‘zini namoyon qilgan va oziq-ovqat mahsulotlaridagi patogen mikroorganizmlarni zararsizlantirish uchun muqobil texnologiya sifatida tasdiqlanishi kerak.

REFERENCES

1. Whitehead, J.C. The Chemistry of Cold Plasma. In Cold Plasma in Food and Agriculture; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 53-81.
2. Hertwig, C.; Meneses, N.; Mathys, A. Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry food surfaces: A review. Trends Food Sci. Technol. 2018, 77, 131-142. [CrossRef]
3. Fridman, A.; Chirokov, A.; Gutsol, A. Non-thermal atmospheric pressure discharges. J. Phys. D Appl. Phys. 2005, 38, R1-R24. [CrossRef]
4. Dave, H.; Ledwani, L.; Nema, S. Nonthermal plasma: A promising green technology to improve environmental performance of textile industries. In The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 199-249. [CrossRef]
5. Misra, N. Quality of Cold Plasma Treated Plant Foods. In Cold Plasma in Food and Agriculture; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 253-271.
6. Misra, N.; Jo, C. Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. Trends Food Sci. Technol. 2017, 64, 74-86. [CrossRef]
7. Misra, N.; Schlüter, O.; Cullen, P.J. Plasma in Food and Agriculture. In Cold Plasma in Food and Agriculture; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 1-16.
8. Niemira, B.A. Cold Plasma Decontamination of Foods. Annu. Rev. Food Sci. Technol. 2012, 3, 125-142. [CrossRef] [PubMed]
9. Patil, S.; Moiseev, T.; Misra, N.; Cullen, P.J.; Mosnier, J.-P.; Keener, K.; Bourke, P. Influence of high voltage atmospheric cold plasma process parameters and role of relative humidity on inactivation of Bacillus atrophaeus spores inside a sealed package. J. Hosp. Infect. 2014, 88, 162-169. [CrossRef]
10. Moisan, M.; Barbeau, J.; Crevier, M.-C.; Pelletier, J.; Philip, N.; Saoudi, B. Plasma sterilization. Methods and mechanisms. Pure Appl. Chem. 2002, 74, 349-358. [CrossRef]
11. Prokopowich, D.; Blank, G. Microbiological Evaluation of Vegetable Sprouts and Seeds. J. Food Prot. 1991, 54, 560-562. [CrossRef]

ISSN 3030-3907

12. Noriega, E.; Shama, G.; Laca, A.; Díaz, M.; Kong, M.G. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with Listeria innocua. Food Microbiol. 2011, 28, 1293-1300. [CrossRef]
13. Bußler, S.; Herppich, W.B.; Neugart, S.; Schreiner, M.; Ehlbeck, J.; Rohn, S.; Schlüter, O.K. Impact of cold atmospheric pressure plasma on physiology and flavonol glycoside profile of peas (Pisum sativum 'Salamanca'). Food Res. Int. 2015, 76, 132-141. [CrossRef]
14. Lacombe, A.; Niemira, B.A.; Gurtler, J.B.; Fan, X.; Sites, J.; Boyd, G.; Chen, H. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. Food Microbiol. 2015, 46, 479-484. [CrossRef] [PubMed]
15. Lee, K.H.; Kim, H.-J.; Yun, S.-W.; Jo, C.; Kim, J.-K.; Kim, S.H.; Park, H.Y.; Oh, S.-K.; Kim, W.H. Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. LWT 2016, 73, 442-447. [CrossRef]
16. Pasquali, F.; Stratakos, A.C.; Koidis, A.; Berardinelli, A.; Cevoli, C.; Ragni, L.; Mancusi, R.; Manfreda, G.; Trevisani, M. Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, Cichorium intybus L.). Food Control. 2016, 60, 552-559. [CrossRef]
17. Sarangapani, C.; O'Toole, G.; Cullen, P.; Bourke, P. Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2017, 44, 235-241. [CrossRef]
18. Ziuzina, D.; Misra, N.N.; Cullen, P.J.; Keener, K.; Mosnier, J.P.; Vilaró, I.; Gaston, E.; Bourke, P. Demonstrating the Potential of Industrial Scale In-Package Atmospheric Cold Plasma for Decontamination of Cherry Tomatoes. Plasma Med. 2016, 6, 397-412. [CrossRef]
19. Vaideki, K. Plasma Technology for Antimicrobial Textiles; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016; pp. 73-86.
20. Niemira, B.A.; Gutsol, A. Nonthermal Plasma as a Novel Food Processing Technology. In Nonthermal Processing Technologies for Food; Wiley: New York, NY, USA, 2011; pp. 271-288.
21. Pinela, J.; Ferreira, I.C.F.R. Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2015, 57, 2095-2111. [CrossRef]
22. Ben Gadri, R.; Roth, J.; Montie, T.C.; Kelly-Wintenberg, K.; Tsai, P.P.-Y.; Helfritch, D.J.; Feldman, P.; Sherman, D.M.; Karakaya, F.; Chen, Z. Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP). Surf. Coatings Technol. 2000, 131, 528-541. [CrossRef]

ISSN 3030-3907

23. Raviteja, T.; Dayam, S.K.; Yashwanth, J. A Study on Cold Plasma for Food Preservation. J. Sci. Res. Rep. 2019, 1-14. [CrossRef]
24. Mandal, R.; Singh, A.; Singh, A.P. Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry. Trends Food Sci. Technol. 2018, 80, 93-103. [CrossRef]
25. Sladek, R.E.J.; Stoffels, E. Deactivation ofEscherichia coliby the plasma needle. J. Phys. D Appl. Phys. 2005, 38, 1716-1721. [CrossRef]
26. Lee, K.-Y.; Park, B.J.; Lee, D.H.; Lee, I.-S.; Hyun, S.O.; Chung, K.-H.; Park, J.-C. Sterilization of Escherichia coli and MRSA using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. Surf. Coatings Technol. 2005, 193, 35-38. [CrossRef]
27. Sharma, A.K.; Josephson, G.B.; Camaioni, D.M.; Goheen, S.C. Destruction of Pentachlorophenol Using Glow Discharge Plasma Process. Environ. Sci. Technol. 2000, 34, 2267-2272. [CrossRef]
28. Deng, S.; Ruan, R.; Mok, C.K.; Huang, G.; Chen, P. Non-Thermal Plasma Disinfection of Escherichia coli on almond. In Proceedings of the 2005 ASAE Annual Meeting, Tampa, FL, USA, 17 August 2005. [CrossRef]
29. Laroussi, M.; A Mendis, D.; Rosenberg, M. Plasma interaction with microbes. New J. Phys. 2003, 5, 41. [CrossRef]
30. Xu, Z.; Shen, J.; Zhang, Z.; Ma, J.; Ma, R.; Zhao, Y.; Sun, Q.; Qian, S.; Zhang, H.; Ding, L.; et al. Inactivation Effects of Non-Thermal Atmospheric-Pressure Helium Plasma Jet on Staphylococcus aureus Biofilms. Plasma Process. Polym. 2015, 12, 827-835. [CrossRef]
31. Ali, A.; Kim, Y.H.; Lee, J.Y.; Lee, S.; Uhm, H.S.; Cho, G.; Park, B.J.; Choi, E.H. Inactivation of Propionibacterium acnes and its biofilm by non-thermal plasma. Curr. Appl. Phys. 2014, 14, S142-S148. [CrossRef]
32. Lee, M.H.; Park, B.J.; Jin, S.C.; Kim, D.; Han, I.; Kim, J.; O Hyun, S.; Chung, K.-H.; Park, J.-C. Removal and sterilization of biofilms and planktonic bacteria by microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. New J. Phys. 2009, 11, 115022. [CrossRef]
33. Maisch, T.; Shimizu, T.; Isbary, G.; Heinlin, J.; Karrer, S.; Klämpfl, T.G.; Li, Y.-F.; Morfill, G.; Zimmermann, J.L. Contact-Free Inactivation of Candida albicans Biofilms by Cold Atmospheric Air Plasma. Appl. Environ. Microbiol. 2012, 78, 4242-4247. [CrossRef]
34. Dorai, R.; Kushner, M.J. A model for plasma modification of polypropylene using atmospheric pressure discharges. J. Phys. D Appl. Phys. 2003, 36, 666-685. [CrossRef]

ISSN 3030-3907

35. Laroussi, M.; Leipold, F. Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UB radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. Int. J. Mass Spectrom. 2004, 233, 81-86. [CrossRef]
36. Albertos, I.; Martín-Diana, A.B.; Cullen, P.J.; Tiwari, B.; Ojha, S.; Bourke, P.; Álvarez, C.; Rico, D. Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (Scomber scombrus) fillets. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2017, 44, 117-122. [CrossRef]
37. Grzegorzewski, F.; Ehlbeck, J.; Schlüter, O.K.; Kroh, L.W.; Rohn, S. Treating lamb's lettuce with a cold plasma - Influence of atmospheric pressure Ar plasma immanent species on the phenolic profile of Valerianella locusta. LWT 2011, 44, 2285-2289. [CrossRef]
38. Min, S.C.; Roh, S.H.; Niemira, B.; Sites, J.E.; Boyd, G.; Lacombe, A. Dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma inhibits Escherichia coli O157:H7, Salmonella, Listeria monocytogenes, and Tulane virus in Romaine lettuce. Int. J. Food Microbiol. 2016, 237, 114-120. [CrossRef] [PubMed]
39. Oh, Y.J.; Song, A.Y.; Min, S.C. Inhibition of Salmonella typhimurium on radish sprouts using nitrogen-cold plasma. Int. J. Food Microbiol. 2017, 249, 66-71. [CrossRef] [PubMed]
40. Trevisani, M.; Berardinelli, A.; Cevoli, C.; Cecchini, M.; Ragni, L.; Pasquali, F. Effects of sanitizing treatments with atmospheric cold plasma, SDS and lactic acid on verotoxin-producing Escherichia coli and Listeria monocytogenes in red chicory (radicchio). Food Control. 2017, 78, 138-143. [CrossRef]
41. Min, S.C.; Roh, S.H.; Niemira, B.; Boyd, G.; Sites, J.E.; Uknalis, J.; Fan, X. In-package inhibition of E. coli O157:H7 on bulk Romaine lettuce using cold plasma. Food Microbiol. 2017, 65, 1-6. [CrossRef] [PubMed]
42. Dirks, B.P.; Dobrynin, D.; Fridman, G.; Mukhin, Y.; Fridman, A.; Quinlan, J.J. Treatment of Raw Poultry with Nonthermal Dielectric Barrier Discharge Plasma To Reduce Campylobacter jejuni and Salmonella enterica. J. Food Prot. 2012, 75, 22-28. [CrossRef]
43. Kim, H.-J.; Yong, H.I.; Park, S.; Choe, W.; Jo, C. Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin. Curr. Appl. Phys. 2013, 13, 1420-1425. [CrossRef]
44. Kim, J.-S.; Lee, E.-J.; Choi, E.H.; Kim, Y.-J. Inactivation of Staphylococcus aureus on the beef jerky by radio-frequency atmospheric pressure plasma discharge treatment. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2014, 22, 124-130. [CrossRef]
45. Boudam, M.K.; Moisan, M.; Saoudi, B.; Popovici, C.; Gherardi, N.; Massines, F. Bacterial spore inactivation by atmospheric-pressure plasmas in the presence or absence of UB photons as obtained with the same gas mixture. J. Phys. D Appl. Phys. 2006, 39, 3494-3507. [CrossRef]

ISSN 3030-3907

46. Brandenburg, R.; Ehlbeck, J.; Stieber, M.; Von Woedtke, T.; Zeymer, J.; Schlüter, O.; Weltmann, K.-D. Antimicrobial Treatment of Heat Sensitive Materials by Means of Atmospheric Pressure Rf-Driven Plasma Jet. Contrib. Plasma Phys. 2007,
47. 47, 72-79. [CrossRef] 47. Hertwig, C.; Reineke, K.; Ehlbeck, J.; Knorr, D.; Schlüter, O.K. Decontamination of whole black pepper using different cold atmospheric pressure plasma applications. Food Control. 2015, 55, 221-229. [CrossRef]
48. Kim, J.E.; Lee, D.-U.; Min, S.C. Microbial decontamination of red pepper powder by cold plasma. Food Microbiol. 2014, 38, 128-136. [CrossRef] [PubMed]
49. Lassen, K.S.; Nordby, B.; Grün, R. The dependence of the sporicidal effects on the power and pressure of RF-generated plasma processes. J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater. 2005, 74, 553-559. [CrossRef] [PubMed]
50. Reineke, K.; Langer, K.; Hertwig, C.; Ehlbeck, J.; Schlüter, O.K. The impact of different process gas compositions on the inactivation effect of an atmospheric pressure plasma jet on Bacillus spores. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2015, 30, 112-118. [CrossRef]
51. Gavahian, M.; Cullen, P. Cold Plasma as an Emerging Technique for Mycotoxin-Free Food: Efficacy, Mechanisms, and Trends. Food Rev. Int. 2019, 36, 193-214. [CrossRef]
52. Dowd, D. Involvement of arthropods in the establishment of mycotoxigenic fungi under field conditions. In Mycotoxins in Agriculture and Food Safety; Sinha, K.K., Bhatnagar, D., Eds.; Marcel Dekker, Inc.: New York, NY, USA, 1998; pp. 307-350.
53. Fallah, A.A. Assessment of aflatoxin M1 contamination in pasteurized and UHT milk marketed in central part of Iran. Food Chem. Toxicol. 2010, 48, 988-991. [CrossRef]
54. Mannon, J.; Johnson, E. Fungi down on the farm. New Sci. 1985, 105, 12-16.
55. Kuiper-Goodman, T. Food safety: Mycotoxins and phycotoxins in perspective. In Mycotoxins and Phycotoxins—Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety; Miraglia, M., van Edmond, H., Brera, C., Gilbert, J., Eds.; Alaken, Inc.: Fort Collins, Colorado, 1998; pp. 25-48.
56. Van Egmond, H. Mycotoxins in dairy products. Food Chem. 1983, 11, 289-307. [CrossRef]
57. Shahbazi, Y. Aflatoxin M 1 Contamination in Milk and Dairy Products. In Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; pp. 237-250.

ISSN 3030-3907

58. Ueno, Y. Trichothecene Mycotoxins Mycology, Chemistry, and Toxicology. In Advances in Nutritional Research; Springer Science and Business Media LLC: Larkspur, CA, USA, 1980; pp. 301-353.
59. Rotter, B.A. Invited Review: Toxicology of Deoxynivalenol (Vomitoxin). J. Toxicol. Environ. Heal. Part A 1996, 48, 1-34. [CrossRef]
60. Bosch, L.T.; Pfohl, K.; Avramidis, G.; Wieneke, S.; Viöl, W.; Karlovsky, P. Plasma-Based Degradation of Mycotoxins Produced by Fusarium, Aspergillus and Alternaria Species. Toxins 2017, 9, 97. [CrossRef]
61. A Ouf, S.; Basher, A.H.; Mohamed, A.-A.H. Inhibitory effect of double atmospheric pressure argon cold plasma on spores and mycotoxin production ofAspergillus nigercontaminating date palm fruits. J. Sci. Food Agric. 2015, 95, 3204-3210. [CrossRef] [PubMed]
62. Devi, Y.; Thirumdas, R.; Sarangapani, C.; Deshmukh, R.; Annapure, U. Influence of cold plasma on fungal growth and aflatoxins production on groundnuts. Food Control. 2017, 77, 187-191. [CrossRef]
63. Kriz, P.; Petr, B.; Zbynek, H.; Jaromir, K.; Pavel, O.; Petr, S.; Miroslav, D.; Valaskova, K.; Havelka, Z.; Kadlec, J.; et al. Influence of Plasma Treatment in Open Air on Mycotoxin Content and Grain Nutriments. Plasma Med. 2015, 5, 145-158. [CrossRef]
64. Ren, C.; Huang, G.; Wang, S.; Xiao, J.; Xiong, X.; Liu, Y. Influence of atmospheric pressure argon plasma treatment on the quality of peanut oil. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2017, 119, 1700062. [CrossRef]
65. Shi, H.; Ileleji, K.E.; Stroshine, R.L.; Keener, K.; Jensen, J.L. Reduction of Aflatoxin in Corn by High Voltage Atmospheric Cold Plasma. Food Bioprocess Technol. 2017, 10, 1042-1052. [CrossRef]
66. Siciliano, I.; Spadaro, D.; Prelle, A.; Vallauri, D.; Cavallero, M.C.; Garibaldi, A.; Gullino, M.L. Use of Cold Atmospheric Plasma to Detoxify Hazelnuts from Aflatoxins. Toxins 2016, 8, 125. [CrossRef]
67. Almeida, F.D.L.; Cavalcante, R.S.; Cullen, P.J.; Frias, J.; Bourke, P.; Fernandes, F.A.N.; Rodrigues, S. Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2015, 32, 127-135. [CrossRef]
68. Food Safety Standards and Guidelines. Canada.ca. Available online: https://www.canada.ca/en/foodinspection (accessed on 21 August 2020).
69. Jermann, C.; Koutchma, T.; Margas, E.; Leadley, C.; Ros-Polski, V. Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2015, 31, 14-27. [CrossRef]

ISSN 3030-3907

70. Ishikawa, K. Plasma Diagnostics in Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications; Academic Press: Dublin, Ireland, 2016; pp. 117-141.

ISSN 3030-3907