

<https://doi.org/10.61308/CPLC1896>

Агроволтаичните системи (AVS) - необходимост, видове, разпространение и тенденции на развитие. Обзор

Цветан Марков^{1*}, Иван Янчев², Николай Марков¹ и Мирослав Христов¹

¹Селскостопанска академия, Институт по планиско животновъдство и земеделие-Троян, България

²Селскостопанска академия, Институт по животновъдни науки-Костинброд, България

*Кореспондиращ автор: markov.tsvetan88@gmail.com

Резюме: Разгледани са ползите и тенденцията за развитие в производството на слънчева енергия в земеделието по света, в Европа и у нас. Тази индустрия, разработена през далечните 80-те години на XX век, е интересна с това, че цената на фотоволтаичните панели прогресивно намалява, а чрез тях направените капиталовложения се изплащат сравнително бързо, като се демонстрира същевременно екологичен, зелен ефект. Агроволтаичните системи имат съвременен дизайн и здрава колонна конструкция, които са съобразени с всички стандарти за безопасност. Прилагат се след проведени проектантски дейности. Агрофотоволтаичните системи могат да бъдат с различни размери и мощност. Препоръчително е минималната мощност да бъде 20 kW за ферма. Допълнителните приходи от слънчевите инсталации могат да осигурят предвидим и ритмичен паричен поток за фермерите. Оптималният светлинен спектър подобрява производството на енергия и улеснява разстежа на културите и сортовете, пропускайки максимално необходимата слънчева светлина. Отглеждат се предимно листни зелетчуци, картофи, ягоди, малини, овощни видове, зърнени култури и др. Наличната растителност под тях (разнообразни тревостои) е евтин и стандартен фураж за консумиращите я тревопасни животни и птици.

Ключови думи: модерно земеделие; фотоволтаици; агроволтаични системи; приходи

Agrovoltaic systems (AVS) - need, types, distribution and development trends. Overview

Tsvetan Markov^{1*}, Ivan Yanchev², Nikolay Markov¹ and Miroslav Hristov¹

¹Agricultural Academy, Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture of Troyan, Bulgaria

²Agricultural Academy, Institute of Animal Science, Kostinbrod, Bulgaria

*Corresponding author: markov.tsvetan88@gmail.com

Citation: Markov, Ts., Yanchev, I., Markov, N. & Hristov, M. (2025). Agrovoltaic systems (AVS) - need, types, distribution and development trends. Overview. *Bulgarian Journal of Animal Husbandry*, 62(2), 43-50 (Bg).

Abstract: The benefits and development trend in the production of solar energy in agriculture around the world, in Europe, and in our country are examined. This industry, developed in the distant 1980s, is interesting in that the price of photovoltaic panels is progressively decreasing, and the capital investments made through them are paid off relatively quickly, while demonstrating an ecological, green effect. Agrovoltaic systems have a modern design, a sturdy columnar structure, which comply with all safety standards. They are applied after design activities have been carried out. Agrophotovoltaic systems can be of different sizes and power. It is recommended that the minimum power be 20 kW per farm. Additional income from solar installations can provide a predictable and rhythmic cash flow for farmers. The optimal light spectrum improves energy production and facilitates the growth of crops and varieties, letting in the maximum necessary sunlight. They mainly grow leafy vegetables, potatoes, strawberries, raspberries, fruit species, grain crops etc. The available vegetation under them (various grasses) is a cheap and standard feed for the herbivorous animals and birds that consume it.

Keywords: modern agriculture; photovoltaics; agrovoltaic systems; income

ВЪВЕДЕНИЕ

Всяка агроволтаична система (AVS) е конструирана на базата на разработена стратегия за посрещане на глобалните изисквания за възобновяема енергия и устойчивост чрез интегриране на фотоволтаици в селското стопанство. Много емпирични изследвания са предлагали различни съоръжения и са модулирали разнообразни култури и сортове, позволявайки се на това, че AVS подобрява ефективността на използването на земята. Рядко се получава крайните потребители, фермерите и различните модулни стопанства и ферми да приемат агроволтаичните системи (AVS), поради липса на стандартизирани модели и критерии за проектиране. Въз основа на разположението на фотоволтаичния модул и регулирането на условията за инсталиране се разработват различни типове, които отразяват условията на място и потребителските предпочитания. Анализират се стандартите за безопасност и за устойчивост при бедствия и аварии и се търсят компромиси между коефициента на засенчване, капацитета за генериране на електроенергия и количеството на структурните елементи (Ollabi et al., 2022).

Техническите характеристики на AVS-системите са съобразени с изграждането и внедряването им в различни региони. Някои AVS проекти вече използват мобилни фотоволтаични модули, които разрешават слънчево проследяване. Те максимализират фотоволтаичния добив и подобряват наличната светлина, позволявайки достатъчен растеж (Valle et al., 2017).

Основен принцип е: колкото по-тесен е дизайнът на колоната на агроволтаичната система, толкова по-благоприятни са безопасността и генерирането на енергия, и толкова по-неблагоприятна е средата за отглеждане на различни култури и сортове, както и направените разходи за инсталиране. Когато модулите са монтирани на разстояние, структурната безопасност е намалена, но се подсигурава повече слънчева радиация и икономическа ефективност (Ollabi et al., 2022).

Чрез комбинирано използване на енергия и култури при AVS системите е възможно да се увеличат производителността и рентабилността на използваната селскостопанска земя от 16 до 170 % (Elamri et al., 2018, Weselek et al., 2019).

Целта на настоящото изследване е да проучи необходимостта, ползите и тенденцията на развитие на различните видове агрофотоволтаични системи в производството на слънчева енергия и различни култури и животни в селското стопанство по света, в Европа и у нас.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Изследването се основава на анализ на научни разработки и концепции, посветени на използването на промишлени агроволтаични системи (AVS). Като методологическа основа за провеждане на проучването, бяха използвани общонаучни методи на изследване, информационно-логичен анализ на научна и научно-практична информация, както и материали за маркетингово и скринингово проучване на пазара на различни системи агрофотоволтаици в селското стопанство. Приложени бяха още и описателен и ретроспективен анализ. За постигане на целта използвахме обобщени данни за световно, европейското и българското земеделие през периода 2015-2025 година. Използваната информация е предимно от публикации на FAO, МЗХГ, Агенция митници, агростатистика, аграрни доклади и доклади за маркетинг и пазарни анализи. В статията се цитират моменти от трудове на български и чуждестранни автори. Направено бе изследване на различни фотоволтаични системи в растениевъдството и животновъдството. Извършени бяха обобщения и изводи.

РЕЗУЛТАТИ И ИЗСЛЕДВАНЕ

I. Растениевъдство

Системите за възобновяема енергия се прилагат за подпомагане на борбата с промените

в климата и постигане на относителна въглеродна неутралност, а фотоволтаиците (PV) са най-широко използваната технология в тази област (Hayat et al., 2019, Hernandez et al., 2019, Gielen et al., 2019, Olabi et al., 2022). Необходимо е голямо количество земя за фотоволтаични съоръжения, което води до намаляване и загуба на обработваемите земеделски площи (Lee et al., 2020).

За да се преодолее това предизвикателство, агроволтаичните системи (AVS) бързо привличат вниманието, като използват слънчева енергия за растеж на културите и същевременно производство на електроенергия, чрез инсталиране на фотоволтаични модули над пределната зона за отглеждане (Dinesh and Pearce, 2016; Yoon et al., 2019, Katsikogiannis et al., 2022).

Агро фотоволтаичните системи (AVS) са иновативна технология за интелигентни ферми, която подобрява ефективността на използването на земята и устойчивостта на фермите чрез комбиниране на селско стопанство и производство на енергия (Valle et al., 2017; Elamri et al., 2018; Barron-Gafford et al., 2019). Първоначално проектът е замислен от Goetzberger and Zastrow (1982), като по-късно той се разклонява в различни области, като „агроволтаика“, „агрофотоволтаика“, „PV земеделие“ и „използване на слънчева енергия“ (Amaducci et al., 2018; Chen et al., 2019; Sekiyama et al., 2019; Al Mamun et al., 2022).

Слънчевата радиация е основен фактор в култивирането и растежа, намалява при агроволтаичните системи (AVS) поради конструкцията на фотоволтаичните модули и се отразява значително неблагоприятно върху растежа и развитието на различните култури и сортове (Papaioannou et al., 1993; Hunt et al., 1998; Mo et al., 2005; Trinka et al., 2007).

Слънчевата светлина, надвишаваща точката на насищане на светлината, намалява фотосинтетичната ефективност на културите и сортовете и изпарява влагата (Falster and Westoby, 2003; Je al., 2006), този ефект може да подпомогне растежа на културите, когато фотоволтаичните модули са инсталирани по

специфичен и правилен начин. Тези модули могат да бъдат от полза за селското стопанство чрез частично блокиране на силни валежи от дъжд, обилен сняг и студени ветрове (Jiang et al., 2022). Излишната слънчева светлина може да се използва за производство на електроенергия, като по този начин се подобряват приходите и рентабилността на фермите (Malu et al., 2017). В допълнение, нивата на потребление на вода и емисиите на парникови газове в AVS обикновено са по-ниски, отколкото в оризовите полета (Barron-Gafford et al., 2019; Kang et al., 2021).

По света инсталирания капацитет в производството на слънчева енергия показва тенденции на нарастване от около 5 MW през 2012 г. на 2,9 GW през 2021 г. (IFEEA, 2022). Агроволтаичните системи (AVS) са разработени и внедрени най-добре в Япония, където за същите има свързани закони и разпоредби приети от парламента. През 2020 г. близо 2000 агроволтаични системи се използват с успех в Япония (Nagashima, 2015).

Barron-Gafford et al., (2019) сравняват добивите от селскостопанска продукция, количеството произведена енергия и изразходената за напояване вода, използвайки агроволтаична система и ги сравняват с традиционна селскостопанска система в щата Аризона, САЩ. Изследваните растения: лют червен пипер, халапеньо и чери домати удвояват добива от реколтата си в агрофотоволтаичната система, сравнени с традиционната.

В САЩ, Санта Круз, Кафорния, компанията Soliculture предлага иновативни соларни панели изработени от тънки силициеви ленти, подредени върху стъклен панел, подобрявайки качеството на светлината чрез преобразовател на зелена светлина. Резултати са положителна реакция на растенията от отглежданите култури, повишен добив, по-бързо узряване и устойчивост на болести.

В Южна Корея са провеждани доста проучвания за коефициента на засенчване (SR) (Kim et al., 2020; Kwon and Lee, 2021), слънчевата светлина при системата (Lee et al., 2020, Kwon and Lee, 2021), икономическите ефекти

(Soon and Shin, 2021) и емпиричните култивации (An et al., 2020; Han et al., 2020; Kim et al., 2021). Независимо от това, повечето от тях са ограничени до изграждането на пилотни комплекси и просто наблюдение на растежа на културите, като комерсиализацията все още не е възможна (Perna et al., 2019; Trommsdorff et al., 2021; Poonia et al., 2022). Броят на съоръженията е малък и не е постигнато широко разпространение във фермите поради проблеми като високи капиталови разходи за инсталиране, ограничения на законите и негативни възприятия на фермерите. Към 2022 г. само две AVS съоръжения са построени от фермери (от приблизително 40 предложени модела) в Южна Корея (Lee et al., 2019; Kim et al., 2020). Разработването на стандартен AVS модел е необходимо за разпространението на тази интелигентна система във фермите на страната.

В Индия се произвеждат и внедряват AVS системи предимно в щатите Мащарашра и Утар Прадеш, на базата на индийско - германско сътрудничество. Съоръженията имат капацитет 73,22 MW в края на 2023 г. (India Agrovoltaiics Allauce, 2024). Добър пример е електростанция с мощност 7,2 kW, инсталирана на експерименталното поле на отдела REE при Колежа по селско стопанство JAU-Junagadh. Извършват се опити с основни за Индия култури и сортове. AVS Parbani е разработен като голям слънчев проект с мощност 50 KW. Експериментира се с 3 модула, панелите са монтирани с височина 3,75m и разстояние между фотоволтаиците 5,65m. Сеят се традиционни за Индия култури и сортове, като се отчита повишаване на средните добиви.

Германия, Австрия, Франция, Нидерландия, Италия (Sacchelli et al., 2016; Schindele et al., 2020), САЩ (Majumdar and Pasqualetti, 2019; Lytle et al., 2021) и Китай (Wang et al., 2018) провеждат изследвания и внедряват различни демонстрационни проекти, използващи агроволтаични системи (AVS). В Германия и Австрия са разработени проекти с инсталирани мощности от 22 KW за отглеждане

на картофи, тревни смеси и силажни култури. Тези двулицеви панели са с по-ниски конструкции, и съответно с по - ниски разходи. В Бавария е демонстрирана модерна атроволтаична тракерна система за отглеждане на зърнени култури. През 2018 г. френската компания Sum' agrirph изгради първото фотоволтаично поле в Тулиз, Източните Перинеи върху 4,5 хектара лозя, с мощност 2,2 MW. На френския тропически остров Реюнион, компанията Agrinergie R изгражда проект за производство на лимонена трева меду фотоволтаици, съобразен с ландшафта и хармонизиран с пейзажа. Френски зимни зеленчуци на базата на агрофотоволтаици се отглеждат във фотоволтаична ферма около Буш Дю Рон.

В нидерландския град Баберих, компанията BayWa във ферма за малини е конструирала агрофотоволтаични системи за 2,7 MW. Това е най-голямата агрофотоволтаична система за плодове в Европа.

Италия е разработила и внедрява проект-стимул - PNRR за 1,5 млрд. евро, покриващ цялата територия на страната, при които максималният разход за бенефициента е 250 000 евро. Фотоволтаичните панели се монтират на покрива на разнообразни сгради или се използват за селскостопански и агроиндустриални цели, но не на обработваема земя. Италиански учени работят и върху пилотен проект за овощни видове, отглеждани под фотоволтаици, при които сензорите са способни да следят параметрите на околната среда, фотолтаиците и състоянието на дръвчетата. По този начин се свеждат до минимум отрицателното въздействие на околната среда и съпътстващите болести и неприятелни.

През 2024 г. в Румъния, в Експерименталната база "Моара Домнеаскъ", разположена на 25 km от Букурещ в град Афшуми на площ от 201he, бе демонстрирана AVS система, построена над ягодово поле. Използват се два модела фотоволтаични панели с 49% и 77% прозрачност. Полето е разделено на 3 зони: полузасенчено, леко засенчено и без засенчване. Резултатите сочат, че отглежданият сорт ягоди

“Сибилла” дава най-добър добив при леко засенчване.

В България темата е разглеждана чрез промени в Закона за енергетиката от възобновяеми източници, които формално въвеждат дефиниция и рамка за изграждане на AVS системи, както и нови облекчения за всички ВЕИ, които предтоят да се изградят върху земеделски земи. Промените създадоха полемика, вследствие на прибързаното приемане на закона и стопираха развитието на агрофотоволтаични полета. Въпреки това, пионери в тази област са фирма „Солар Джи Паулър“ ЕООД - Добрич и група земеделски производители на оранжерийни култури в Пловдивска област.

II. Животновъдство

Освен получаване на земеделска продукция, двойното използване на площите при агрофотоволтаичните системи (AVS) може да бъде приложено и при животновъдството.

Соларната паша (слънчевата паша) е метод за контрол на растителността, предимно различни, естествени тревостои (разнотриви), изникнали под фотоволтаичните панели с помощта на преживни животни-крави, овце, кози и по-рядко на непреливни животни - коне, свине и кокошки.

Дребните преживни животни - овце и кози са “естествени” косачки. Те са способни да се завират в малките пространства, където косачките не могат да действат, и да пасат независимо от времето.

Агрофотоволтаичните компании търсят и сключват договори с местните фармери - овцевъди и козевъди, които преместват овцете и козите в соларните паркове през пасищния сезон и същевременно следят за храненето, поенето и здравето на животните, като генерират по този начин допълнителни приходи. Установено е, че овцете и козите с достъп до слънчеви панели, прекарват повече време на паша от тези гледани конвекционално. Счита се, че панелите осигуряват сянка на животните. Доколкото овцете и козите се движат под панелите, те тъпчат растителната материя в

почвата наторявайки земята. Повишават качеството на фуражните треви, подобрявайки здравината на почвата в дългосрочен план, увеличавайки съхранението на водород и хранителни вещества. Задържането на вода се повишава с 20-30%, а присъствието на опрашители на тревостоя се засилва с 60%. Растителността около фотоволтаичните предотвратява бързото оттичане на дъждовни води.

В САЩ овцевъдството намалява значително през последните години, и 2/3 от агнешкото месо в страната е внос. В момента в Щатите се отглеждат 5 млн. овце, при 47 млн., отглеждани през 1947 г. През 2021 г. около 6 000 овце са насочени към фотоволтаични системи. Съчетанието между месодайно овцевъдство и соларни панели се оказва правилно и се очаква нарастване на броя на овцете, отглеждани под агрофотоволтаични системи.

В Китай, в град Донгилд, провинция Шандолг, близо до устието на Жълтата река (Хуанхъ), бяха изградени слънчеви панели (PV) за 260 000 домакинства, занимаващи се с рибарство и аквакултури. След завършване на проекта, през 2021 г. се отчетоха множество ползи: осигурена е чиста енергия за рибопроизводството, постигната е температура на водата 3,6-5,9 °C, повишен е добива от скариди и морски краставици. Общата икономическа продукция достига стойности 62,2 млн. долара, което е 15,6% от общото количество продукция риба и аквакултури за Китай (World Ressurse Institute, 2023).

Във ферми във вътрешна Монголия, Китай е демонстриран пилотен безвъзмезден проект на парк от фотоволтаични системи за паша на овце, кози и камили, изграден с частни инвестиции и мощност 1 MW върху земя, отдадена под наем от животновъдна компания, с площ 46,7He. Паркът генерира приходи, които се разпределят между животновъдите като дивидент (Falster, 2024).

В Европа тази практика е отработена и се използва отдавна. От 2015 г. във Франция в околностите град Сен Амаду, район Окситания, ферма отглежда 100 месодайни овце за поддържане на растителността на фотоволтаи-

ци. В Гърция от 2016 г. компанията Emel Pover използва около 300 местни овце за поддържане на растителността под соларни панели. Във Великобритания, околностите на град Нотингъм, компанията ICW споделя своите 1 600 овце с 4 000 месодайни овце. Очаква се този брой да нарастне на 9 000 броя, след започване на агнилната кампания. Ще бъдат спестени 5,9 млн. евро от косене и поддържане през целия 40 годишен период на използване. През 2023 г. компанията Iberdroia пусна стадо от 300 овце при соларни панели в Португалия.

В Швейцарския проект Agto Voltaics - 2022, който работи от няколко години, се демонстрира потенциал на соларно съоръжение, в което пасат крави и овце, под слънчеви панели. От една страна животните естествено задоволяват своите алиментарни нужди с тревостоя под панелите, а от друга няма никакви разходи за косене и поддръжка, като по този начин спомагат за запазване на биоразнообразието.

В България фермерът Юлиан Бенков от с. Бял извор, Смолянска област, отглеждащо стадо от 170 млечни овце, реализира соларен проект с мощност от 25 kW. В околностите на село Калчево, Ямболска област, при изграждане на кравеферма са монтирани 32 фотоволтаични панела по 330 W, инвентори, контролери и др. В страната ни има разработени и внедрени проекти в селскостопанските райони на общините Петрич, Сандански, Кресна, Костинброд, Брезник, Чупрене, Струмяни, Съединение и др., където се изграждат собствени соларни инсталации с използване на слънчева паша от овце и крави.

ИЗВОДИ

Агрофотоволтаичните системи могат да бъдат с различни размери и мощност. Препоръчително е минималната мощност да бъде 20 kW на ферма. Допълнителните приходи от слънчевите инсталации могат да осигурят превидим и ритмичен паричен поток за фермерите. Оптималният светли-

нен спектър подобрява производството на енергия и улеснява разстеза на културите, пропускайки максимално необходимата слънчева светлина. Използвани култури от ABS системите, обикновено са: листни зеленчуци, ягоди, малини, овошки, картофи и силажни растения. Наличната растителност под соларните панели е евтин и стандартен фураж за консумиращите тревопасни животни и птици.

ЛИТЕРАТУРА

- Agro Photovoltaic system on the farm. How does it work? - Agri.bg, (Bg) – <https://agri.bg/>, 25.02.2025
- Al Mamun, M., Dargusch, P., Wadley, D., Zulkarnain, N. A. & Aziz, A. A. (2022). A review of research on agrivoltaic systems. *Review. Sustain Energy Rev*, 161, Article 112351, 10.1016/j.rser.2022.112351.
- Amaducci, S., Colauzzi, X. & Yin, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Appl Energy*, 220, 545-561. 10.1016/j.apenergy.2018.03.081.
- An, K., Yoon, C., Shin, S., Kim, D., Kim, S. & Cho, J. (2020). Characteristics of paddy rice under mimic APV module structure in Jeonnam. *2020 KSES Spring Annual Conference:KSES*, 126-128.
- Barron-Gafford, G. A., Pavao Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I. & Blackett, D. T. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food-energy-water nexus in drylands. *QNat Sustain*, 2, 848-855. 10.1038/s41893-019-0364-5.
- Chen, J., Liu, Y. & Wang L. (2019). Research on coupling coordination development for photovoltaic agriculture system in China, *Sustainability* 2019, 11, 1065; doi:10.3390/su1104106511
- Dinesh, H. & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Review. Sustain. Energy Rev.*, 54, 299-308. 10.1016/j.rser.2015.10.024.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J.-M., Dejean, C. & Belaud, G. (2018). Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems. *Application to irrigated lettuces, Agric Water Manag*, 208, 440-453. 10.1016/j.agwat.2018.07.001.
- Falster, D. S. & Westoby, M. (2003). Leaf size and angle vary widely across species: What consequences for light interception? *New Phytol.*, 158, 509-525. 10.1046/j.1469-8137.2003.00765.x.
- Falster, D. S. (2024). New Energy. *Online*: [https:// www.dsnes.com](https://www.dsnes.com). 25.02.2025
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N. & Gorini, R. (2019). The role of renew-

- able energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Rev.*, 24, 38-50. 10.1016/j.esr.2019.01.006.
- Goetzberger, A. & Zastrow, A.** (1982). On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *Int. J. Sol. Energy*, 1, 55-69. 10.1080/01425918208909875.
- Han, J. W., Jean, M. J., Lee, H. J., Lee, S. K., Seo, D. S., Seo, J. H.** (2020). Growth characteristics of Chinese cabbage under agro-photovoltaic power system. In: *Proceedings of the KSAM APCs 2021 autumn conference*: KSAM, 72 -76.
- Hayat, M. B., Ali, D., Monyake, K. C., Alagha, L. & Ahmed, N.** (2019). Solar energy - A look into power generation, challenges, and a solar-powered future. *Int. J. Energy Res.*, 43, 1049-1067. 10.1002/er.4252.
- Hernandez, R. R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore, O'Leary, K. & Diédhiou, I.** (2019). Techno-ecological synergies of solar energy for global sustainability. *Nat. Sustain.*, 2, 560-568. 10.1038/s41893-019-0309-z.
- Hunt, L. A., Kuchar, L. & Swanton, C. J.** (1998). Estimation of solar radiation for use in crop modelling. *Agric. Forest Meteorol.*, 91, 293-300. 10.1016/S0168-1923(98)00055-0.
- India Agrovoltatics Allauce** (2024). Online: <https://india.agripv.org/#contact>. 25.02.2025
- IEEEA**, (2022), 9th International Forum on Electrical Engineering and Automation, <https://2022.ifeea.info/>, 25.02.2025.
- Je, S-M., Son, S. G., Woo, S. Y., Byun, K. O. & Kim, C.-S.** (2006). Photosynthesis and chlorophyll contents of *Chloranthus glaber* under different shading treatments. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.*, 8, 54-60.
- Jiang S., D. Tang, L. Zhao, C. Liang, N. Cui, D. Gong, Y. Wang, Y. Feng, X. Hu, Y.** (2022). Effects of different photovoltaic shading levels on kiwifruit growth, yield and water productivity under "agrovoltatic" system in Southwest China, *Agricultural Water Management* 269 (2022) 107675, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107675>
- Kang, M., Sohn, S., Park, J., Kim, J., Choi, S.-W. & Cho, S.** (2021). Agro-environmental observation in a rice paddy under an agrovoltatic system: Comparison with the environment outside the system. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.*, 23, 141-148. 10.5532/KJAFM.2021.23.3.141.
- Katsikogiannis, O. A., Ziar, H. & Isabella, O.** (2022). Integration of bifacial photovoltaics in agrovoltatic systems: A synergistic design approach. *Appl. Energy*, 309, Article 118475. 10.1016/j.apenergy.2021.118475.
- Kim, G.** (2020). Development of domestic agrophotovoltaic system and analysis and consideration of crops growth characteristics. *Bull. Korean Photovolt. Soc.*, 6, 15-24.
- Kim S., Kim, S. & Yoon, C.-Y.** (2021). An efficient structure of an agrophotovoltaic system in a temperate climate region. *Agronomy*, 11, 1584. 10.3390/agronomy11081584.
- Kim, S. & Kim, S.** (2021). Performance estimation modeling via machine learning of an agrophotovoltaic system in South Korea. *Energies*, 14, 6724. 10.3390/en14206724.
- Kim, W., Nam, J., Gim, G. H., Kim, D. S. & Lim, C.** (2021). Investigation on the effect of abnormal climate in high value added crops utilizing agrophotovoltaic structures. *Curr. Photovolt. Res.*, 9, 45-50. 10.21218/CPR.2021.9.2.045.
- Kwon, O. & Lee, K.-S.** (2021). Agrophotovoltaic designs: Irradiation analysis on and under PV modules. *J. Korean Sol. Energy Soc.*, 41, 9-23. 10.7836/kses.2021.41.2.009.
- Lee, S.-I., Lee, J.-J., Choe, J.-Y., Choe, W. & Seong, S.-J.** (2019). Agricultural solar power generation for sharing solar energy, solar sharing. *Magazine of the Korean society of agricultural engineers*, 61, 2-11.
- Lee, S.-I., Choi, J.-Y., Sung, S.-J., Lee, S.-J., Lee, J. & Choi, W.** (2020). Simulation and analysis of solar radiation change resulted from solar-sharing for agricultural solar photovoltaic system. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 62, 63-72. 10.5389/KSAE.2020.62.5.063.
- Lytle, W., Meyer, T. K., Tanikella, N. G., Burnham, L. Engel, J. & Schelly, C.** (2021), Conceptual design and rationale for a new agrovoltatics concept: Pasture-raised rabbits and solar farming. *J. Cleaner Prod.*, 282, Article 124476. 10.1016/j.jclepro.2020.124476.
- Majumdar, D. & Pasqualetti, M. J.** (2019) Analysis of land availability for utility-scale power plants and assessment of solar photovoltaic development in the state of Arizona. *USA Renew Energy*, 134, 1213-1231. 10.1016/j.renene.2018.08.064.
- Malu, P. R., Sharma, U. S. & Pearce, J. M.** (2017). Agrovoltatic potential on grape farms. *India Sustain. Energy Technol. Assess*, 23, 104-110. 10.1016/j.seta.2017.08.004.
- Mo, X., Liu, S., Lin, Z., Xu, Y., Xiang, Y. & McVicar, T. R.** (2005). Prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT-crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain. *Ecol. Modell*, 183, 301-322. 10.1016/j.ecolmodel.2004.07.032.
- Nagashima, A.** (2015). Change Japan, Change the world. Advise of "solar sharing" Rick, Tokyo., 5, 63-72.
- Olabi, A. M. & Abdelkareem, M. A.** (2022). Renewable energy and climate change *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 158, Article 112111. 10.1016/j.rser.2022.112111.
- Papaioannou, G., Papanikolaou, N. & Retalis, D.** (1993). Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Theor. Appl. Climatol.*, 48, 23-27. 10.1007/BF00864910.
- Perna, A., Grubbs, E. K., Agrawal, R. & Bermel, P.** (2019). Design considerations for agrophotovol-

- taic systems: Maintaining PV area with increased crop yield; *46th Photovolt Spec Conference (PVSC)*: IEEE. IEEE Publications. <https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8981324>.
- Photovoltaics in agriculture**. Online: <https://www.photovoltaic-panel.com/blog/pv-in-agriculture>, 25.02.2025.
- Poonia, S., Jat, N. K., Santra, P., Singh, A. K., Jain, D. & Meen, H. M.** (2022). Techno-economic evaluation of different agri-voltaic designs for the hot arid eco-system. *India Renew Energy*, 184, 149-163. 10.1016/j.renene.2021.11.074.
- Sacchelli, S., Garegnani, G., Geri, F., Grilli, G., Paletto, A. & Zambelli, P.** (2016). Trade-off between photovoltaic systems installation and agricultural practices on arable lands: *An environmental and socio-economic impact analysis for Italy Land Use Policy*, 56, 90-99. 10.1016/j.landusepol.2016.04.024.
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Oberfell, T., Bopp, G. & Reise, C.** (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Appl Energy*, 265, Article 114737. 10.1016/j.apenergy.2020.114737.
- Sekiyama, T. & Nagashima, A.** (2019). Solar sharing for both food and clean energy production. *Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop Environments*, 6, 65-69. 10.3390/environments6060065.
- Sheep and photovoltaics - an unexpectedly good combination**. Online: <https://technews.bg/article-165696.html>, (Bg), 25.02.2025.
- Soon, B. M. & Shin, D. W.** (2021). Impact of agricultural photovoltaic on the farm household income. *J. Clim. Change Res.*, 12, 409-419. 10.15531/KSC-CR.2021.12.5.409.
- Trinka, M., Eitzinger, J., Kapler, P., Dubrovský, M., Semerádová, D. & Žalud, Z.** (2007). Effect of estimated daily global solar radiation data on the results of crop growth models. *Sensors (Basel)*, 7, 2330-2362. 10.3390/s7102330.
- Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G. & Ehmann, A.** (2021). Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany Renew. *Sustain Energy Rev.*, 140, Article 110694. 10.1016/j.rser.2020.110694.
- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P. & Frisson, T.** (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Appl. Energy*, 206, 14951507. 10.1016/j.apenergy.2017.09.113 View PDF View article View in Scopus Google Scholar.
- Wang, D., Zhang, Y. & Sun, Y. A.** (2018). Criterion of crop selection based on the novel concept of an agrivoltaic unit and M-matrix for agrivoltaic systems; 2018 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC). *A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC*: IEEE. IEEE Publications, 1491-1496. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2018.8547609>.
- Weselek, A., Ehmann, A. & Zikel, S.** (2019). Agrovoltaiic sistems applications chalenses and oportuites. A review. *Agron., Sustain. Dev.*, 39, 35. <http://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>.
- World Ressurce Institute.** (2023). <https://www.wri.org/research>.
- Yoon, C., Choi, S., An, K.-N., Ryu, J.-H., Jeong, H. & Cho, J.** (2019). Preliminary experiment of the change of insolation under solar panel mimic shading netKorean. *J. Agric. Forest Meteorol.*, 21, 358-365. 10.5532/KJAFM.2019.21.4.358.

Received: March, 05, 2025; Approved: March, 30, 2025; Published: April, 2025