

УДК 635.21: 581.132.1

ВМІСТ ХЛОРОФІЛУ В ЛИСТІ РОСЛИН КАРТОПЛІ

М'ялковський Р.О. – к.с.-г.н., доцент, докторант,
Подільський державний аграрно-технічний університет

У статті висвітлено результати вмісту хлорофілу в листі рослин картоплі сортів різних груп стиглості залежно від строків садіння та глибини загорання бульб протягом вегетаційного періоду в умовах Правобережного Лісостепу України. Встановлено, що упродовж вегетаційного періоду сорт та строк садіння мали найбільший вплив на вміст хлорофілу в листі картоплі. В середньому за роки досліджень серед строків садіння виділяється II (03–05.05), серед сортів – середньостиглі сорти. зокрема, вміст хлорофілу у фазу цвітіння сорту Віра становив 2,67 мг/г сирої маси, Слов'янка – 2,64 і Малинська біла – 2,66 мг/г сирої маси за глибини загорання 10–12 см.

Ключові слова: картопля, сорт, строки садіння, глибина загорання бульб, вміст хлорофілу, дисперсійний аналіз.

Мялковский Р.А. Содержание хлорофилла в листьях растений картофеля

В статье отражены результаты содержания хлорофилла в листьях растений картофеля сортов различных групп спелости в зависимости от сроков посадки и глубины заделки клубней в течение вегетационного периода в условиях Правобережной Лесостепи Украины. Установлено, что на протяжении вегетационного периода сорт и срок посадки имели наибольшее влияние на содержание хлорофилла в листьях картофеля. В среднем за годы исследований среди сроков посадки выделяется II (03–05.05), среди сортов – среднеспелые сорта. В частности содержание хлорофилла в фазу цветения сорта Вера составило – 2,67 мг/г сырой массы, Славянка – 2,64 и Малинская белая – 2,66 мг/г сырой массы при глубине заделки 10–12 см.

Ключевые слова: картофель, сорт, сроки посадки, глубина заделки клубней, содержание хлорофилла, дисперсионный анализ.

Mialkovskiy R.O. The contents of chlorophyll in the leaves of potato plants

The article reflects the results of chlorophyll content in the leaves of potato plants of varieties of various ripeness, depending on the timing of planting and the depth of seeding of tubers during the growing season in the conditions of the Right-bank Forest-Steppe of Ukraine. It was established that during the vegetative period the variety and the planting period had the greatest influence on the chlorophyll content in the potato leaves. On average, over the years of research among the planting dates, II (03–05.05) stands out, among varieties – medium-ripening varieties. In particular, the chlorophyll content in the blossom phase of the Vira variety was 2.67 mg/g wet weight, Slavianka – 2.64 and Malinskaya white – 2.66 mg/g wet weight at a depth of 10–12 cm.

Key words: potato, variety, planting time, tuber closure depth, chlorophyll content, variance analysis.

Постановка проблеми. Відомо, що органічна речовина рослин формується в процесі фотосинтезу, коли вуглець у формі CO₂ відновлюється до глюкози C₆H₁₂O₆. Цей процес в основному здійснюється у листі рослин під дією сонячної енергії. І можливий він лише за наявності в листі рослин хлорофілу, який здатний трансформувати світлову енергію у теплову [2].

Дослідження спрямовані на вивчення динаміки нагромадження хлорофілу в листі рослин має велике значення, оскільки його рівень впливає на інтенсивність фотосинтезу та інші фізіологічні процеси, що мають першочергове значення в оцінці впливу елементів технології на продуктивність рослин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Створення сортів інтенсивного типу з високим потенціалом урожайності потребує поглибленого вивчення всіх елементів фотосинтетичної діяльності на різних рівнях організації асиміляційного апарату – від ценоза до клітин, хлоропластів [7].

Робота фотосинтетичного апарату залежить як від властивостей рослин, так і від забезпеченості їх основними факторами навколишнього середовища. Крім того, пігментний комплекс рослинного організму є дуже чутливим до зміни умов навколишнього середовища, тому його можна вважати належним до групи критеріїв, що визначають ступінь адаптації рослин картоплі до природних і антропогенних чинників навколишнього середовища [4].

Відомо, що у рослинних організмах вміст хлорофілу є чутливим індикатором інтенсивності фотосинтезу та одним із найважливіших показників, які визначають кількість та якість урожаю, що є особливо показовим за дії різноманітних чинників на рослини [6].

Вміст пластидних пігментів, їх співвідношення, динаміка змінюються залежно від біологічних особливостей сортів і особливо від стану та віку листків. Доведено, що молекули хлорофілу не можуть існувати необмежено довго. Частина їх поступово руйнується, замінюючись синтезованими знову. У молодих листках біосинтез хлорофілу відбувається приблизно у 13 разів швидше, ніж у старих [3].

Вивченню хлорофілу присвячено багато досліджень. Практично повністю вивчені властивості хлорофілу, його фізіологічна і біохімічна роль у житті рослин, утворення і нагромадження його в листі та інші питання. Разом із тим недостатньо висвітлені в літературі питання пов'язані з особливостями формування пігментного апарату листя в онтогенезі картоплі, що має особливе значення в оцінці впливу елементів технології вирощування на продуктивність посівів.

Постановка завдання. Метою досліджень було встановити залежність вмісту хлорофілу в листі рослин картоплі сортів різних груп стиглості від строків садіння та глибини загорання бульб протягом вегетаційного періоду в умовах Правобережного Лісостепу України.

Дослідження проводились на дослідному полі Навчально-виробничого центру «Поділля» Подільського державного аграрно-технічного університету протягом 2011–2016 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний, мало гумусний, середньо суглинковий на лесовидних суглинках. Вміст гумусу (за Тюрнімом) у шарі ґрунту 0–3 см становить 3,6–4,2%. Вміст сполук азоту, що легко гідролізуються (за Корнфілдом), становить 98–139 мг/кг (високий), рухомого фосфору (за Чіріковим) – 143–185 мг/кг (високий) і обмінного калію (за Чіріковим) – 153–185 мг/кг ґрунту (високий). Сума увібраних основ коливається в межах 158–209 мг екв./кг. Гідролітична кислотність становить 17–22 мг екв./кг, ступінь насичення основами – 90%.

Клімат – помірно континентальний. Середньорічна температура повітря становить 7,8°C. Середня тривалість безморозного періоду становить від 117 до 136 діб. Перехід середньодобової температури повітря через 10°C навесні припадає на третю декаду квітня. Закінчення цих температур спостерігається в першій декаді жовтня. Період із середньодобовою температурою вище 10°C триває в середньому 160–165 днів. Сума активних температур становить 2765°C. Гідро-

термічний коефіцієнт у регіоні становить 1,4. Кількість опадів та зволоження найменші в області і коливаються в межах 620 мм, хоча здебільшого вони оптимальні для розвитку рослин.

Фактор С – сорти картоплі: середньоранні – Диво (*контроль*), Легенда, Малинська біла; середньостиглі – Віра, Слов'янка (*контроль*), Надійна; середньопізні – Оксамит (*контроль*), Алладін, Дар.

Фактор А – строк садіння бульб (тривалість світлового періоду доби/хвилини: I – 23–25.04 (585 хв., *контроль*), II – 03–05.05 (893 хв.), III – 13–15.05 (924 хв.).

Фактор В – глибина загорання бульб: 2–3 см, 6–8 см (*контроль*), 10–12 см.

Площа посівної ділянки – 450 м², облікової – 50 м², повторність – чотириразова.

фенологічні спостереження, біометричні і фізіолого-біохімічні дослідження проводили за методиками Г.Л. Бондаренка, К.І. Яковенка, В.Ф. Мойсейченка [1; 5].

Виклад основного матеріалу дослідження. Дані наших досліджень показали, що мірою розвитку рослин картоплі вміст хлорофілу в них змінюється. максимальний вміст хлорофілу спостерігався у рослин у фазі цвітіння і знижувався до початку природного висихання бадилля (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст хлорофілу в листі рослин картоплі сортів різних груп стиглості в окремі фази розвитку в мг/г сирі маси (середнє за 2011–2016 рр.)

Сорт (фактор С)	Фази розвитку								
	бутонізація			цвітіння			початок в'янення бадилля		
	Глибина загорання бульб, см (фактор В)								
	2–3	6–8	10–12	2–3	6–8	10–12	2–3	6–8	10–12
I строк садіння (23–25.04) (к)* (фактор А)									
середньоранні									
Диво	2,27	2,31	2,40	2,34	2,57	2,60	1,37	1,41	1,50
Легенда	2,23	2,24	2,35	2,32	2,54	2,58	1,32	1,39	1,44
Малинська біла	2,30	2,40	2,44	2,39	2,58	2,61	1,39	1,44	1,52
середньостиглі									
Віра	2,30	2,33	2,42	2,34	2,60	2,63	1,40	1,43	1,53
Слов'янка	2,25	2,26	2,37	2,34	2,56	2,60	1,34	1,41	1,46
Малинська біла	2,31	2,42	2,45	2,40	2,59	2,62	1,40	1,46	1,53
середньопізні									
Оксамит	2,32	2,35	2,44	2,36	2,62	2,65	1,42	1,45	1,55
Алладін	2,27	2,27	2,39	2,38	2,58	2,62	1,36	1,43	1,49
Дар	2,33	2,43	2,47	2,41	2,51	2,63	1,42	1,47	1,55
II строк садіння (03–05.05) (фактор А)									
середньоранні									
Диво	2,30	2,34	2,42	2,39	2,61	2,64	1,39	1,44	1,56
Легенда	2,29	2,28	2,40	2,38	2,59	2,60	1,40	1,43	1,52
Малинська біла	2,33	2,49	2,50	2,40	2,63	2,67	1,43	1,50	1,57

Продовження таблиці 1

середньостиглі									
Віра	2,34	2,37	2,46	2,38	2,64	2,67	1,44	1,47	1,57
Слов'янка	2,29	2,30	2,41	2,37	2,60	2,64	1,38	1,45	1,51
Малинська біла	2,35	2,46	2,49	2,44	2,63	2,66	1,44	1,50	1,57
середньопізні									
Оксамит	2,24	2,25	2,36	2,33	2,55	2,59	1,33	1,40	1,45
Алладін	2,26	2,27	2,38	2,73	2,57	2,61	1,35	1,42	1,48
Дар	2,34	2,44	2,48	2,42	2,52	2,64	1,43	1,48	1,56
III строк садіння (13–15.05) (фактор А)									
середньоранні									
Диво	2,24	2,31	2,47	2,39	2,56	2,61	1,38	1,40	1,49
Легенда	2,21	2,29	2,36	2,38	2,55	2,60	1,37	1,39	1,48
Малинська біла	2,19	2,28	2,39	2,40	2,52	2,59	1,41	1,44	1,50
середньостиглі									
Віра	2,31	2,34	2,43	2,35	2,61	2,64	1,41	1,44	1,54
Слов'янка	2,26	2,27	2,38	2,34	2,57	2,61	1,35	1,42	1,49
Малинська біла	2,32	2,43	2,46	2,41	2,60	2,63	1,41	1,47	1,54
середньопізні									
Оксамит	2,22	2,23	2,34	2,31	2,53	2,57	1,31	1,37	1,42
Алладін	2,24	2,25	2,26	2,71	2,53	2,59	1,33	1,40	1,46
Дар	2,33	2,31	2,46	2,40	2,41	2,50	1,42	1,41	1,54
Нір ₀₅ А – 0,13; Нір ₀₅ В – 0,08; Нір ₀₅ С – 0,11									

Примітка: (к)* – контроль.

У середньому за роки досліджень серед строків садіння виділяється II (03–05.05), при цьому показники вмісту хлорофілу в листі картоплі були вищими порівняно з I (23–25.04) і III (13–15.05) строком садіння. Це зумовлено впливом метеорологічних умов, особливо вмістом вологи на глибині загортання бульб. Протягом 2014–2015 рр. весна видалась засушливою і процес фотосинтезу проходив дещо сповільнено, що і вплинуло на продуктивність хлорофілу сортів різних груп стиглості картоплі.

Так, найвища продуктивність хлорофілу в листі встановлена у фазу цвітіння, незалежно від строків садіння і глибини загортання порівняно з фазами бутонізації та початком в'янення бадилля. Наприклад, від II (03–05.05) строку садіння у сорту Диво показники вмісту хлорофілу в листі становили при глибині загортання бульб 2–3 см – 2,39; 6–8 см – 2,61 та 10–12 см – 2,64 мг/г сирової речовини, тоді як у фазі початок в'янення бадилля продуктивність хлорофілу за вмістом у листі понизилась і становила 1,39, 1,44 і 1,5 мг/г сирової речовини відповідно.

Аналогічні показники вмісту хлорофілу у листі рослин картоплі середньостиглих і пізньостиглих сортів. Так, від I (23–25.04) строку садіння найвищий вміст хлорофілу у листі картоплі спостерігається від глибини садіння бульб 10–12 см у фазі цвітіння і у середньостиглих сортів цей показник становив у сорту Віра 2,63 мг/г сирової маси, Слов'янка – 2,60 і Малинська біла – 2,62 мг/г сирової маси. Аналогічні показники вмісту хлорофілу і у сортів середньопізніх. Із найвищими досліджуваними показниками також виділяється глибина загортання

бульб 10–12 см і по сортах становить: Оксамит – 2,65 мг/г сирової маси, Алладін і Дар – 2,62 і 2,63 мг/г сирової маси відповідно.

Від II (03–05.05) строку садіння бульб із найвищими показниками вмісту хлорофілу у листі виділяється глибина загортання бульб 10–12 см. У середньостиглих сортів цей показник становить: Віра – 2,67 мг/г сирової маси, Слов'янка – 2,64 і Малинська біла – 2,66 мг/г сирової маси. У середньопізнніх сортів Оксамит, Алладін і Дар показники вмісту хлорофілу у листі становили 2,59; 2,61 і 2,64 мг/г сирової маси.

Підвищений вмісту хлорофілу в листі картоплі встановлено і від III (13–15.05) строку садіння з глибиною бульб 10–12 см у фазі цвітіння. У середньостиглих сортів Віра, Слов'янка, Малинська біла показники становили 2,64, 2,61 і 2,63 мг/г сирової маси відповідно. У середньопізнніх сортів Оксамит, Алладін, Дар – 2,57, 2,59 і 2,50 мг/г сирової маси.

За розрахунками дисперсійного аналізу встановлено, що головний вплив на вміст хлорофілу в листі картоплі середньоранніх сортів у середньому за роки досліджень виявився сорт (фактор С) – 39,2% (рис. 1).

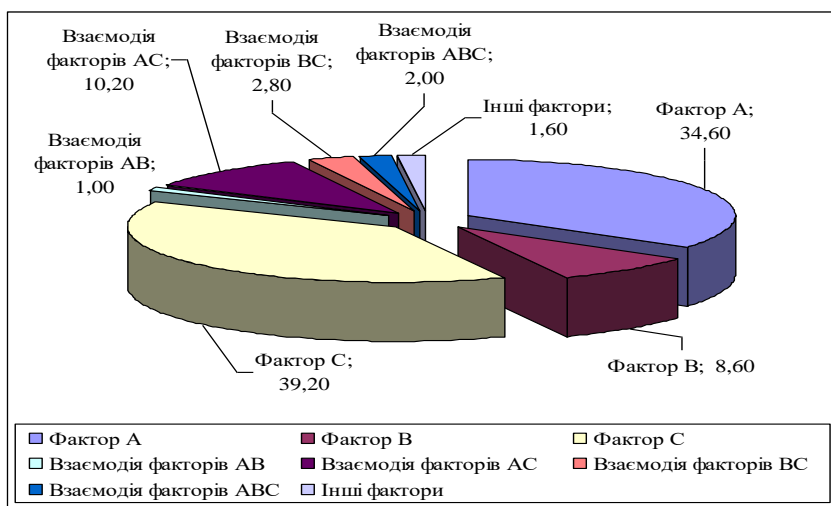


Рис. 3.11. Частки впливу сорту, строків садіння, глибини загортання бульб на вміст хлорофілу в листі картоплі середньоранніх сортів в окремі фази розвитку (середнє за 2011–2016 рр.)

Частка впливу строків садіння (фактор А) на вміст хлорофілу в листі картоплі середньоранніх сортів становить 34,6%. Взаємодія факторів строків садіння і сорту (АС) – 10,2%. Глибина загортання бульб (фактор В) – 8,6%. Взаємодія факторів глибини загортання бульб і сорту (ВС) і поєднання впливу строків садіння, глибини загортання бульб і сорту (АВС) становили 2,8% і 2,0% відповідно. Вплив інших неврахованих факторів – 1,6%.

Результат дисперсійного аналізу отриманих даних свідчить (рис. 2), що головний вплив на вміст хлорофілу в листі картоплі середньостиглих сортів в

окремі фази розвитку рослин забезпечили сорти (фактор С) 35,9%, строки садіння (фактор А) – 31,6%, глибина загортання бульб (фактор В) – 11,2%, взаємодія факторів, строків садіння і сорту (АС) – 11,6%, взаємодія строків садіння і глибини загортання бульб (АВ) – 3,1% і взаємодія строку садіння, глибини та сортів (фактор АВС) – 3%. Вплив інших неврахованих факторів – 1,6%.

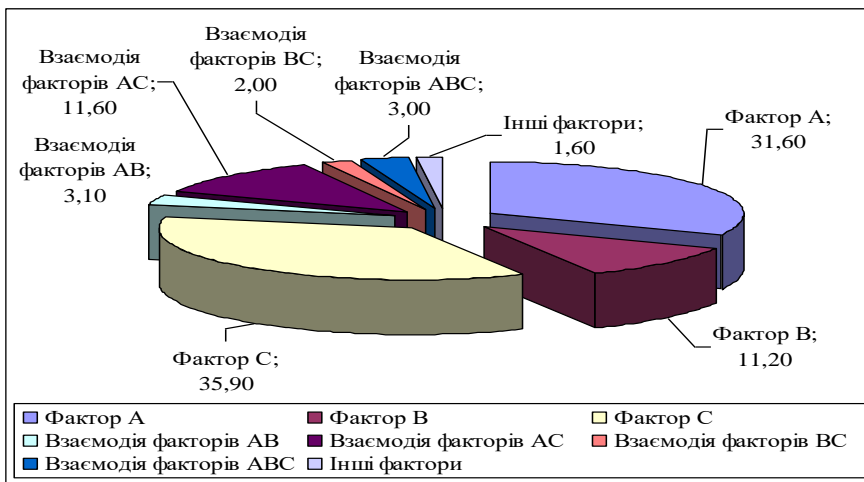


Рис. 3.12. Частки впливу сорту, строків садіння, глибини загортання бульб на вміст хлорофілу у листі картоплі середньостиглих сортів в окремі фази розвитку (середнє за 2011–2016 рр.)

За результатами багатфакторного дисперсійного аналізу (рис. 3), головний вплив на показники вмісту хлорофілу в листі картоплі пізньостиглих сортів в окремі фази розвитку за роки досліджень мали: сорти (фактор С) – 38,4%, строки садіння (фактор А) – 27,3%, глибина загортання бульб (фактор В) – 7,1%, взаємодія строків садіння і сорту (фактор АС) – 14,5%, взаємодія строків садіння, глибини загортання і сорту (фактор АВС) – 4,4%, взаємодія строків садіння і глибини загортання (фактор АВ) – 4,0% .

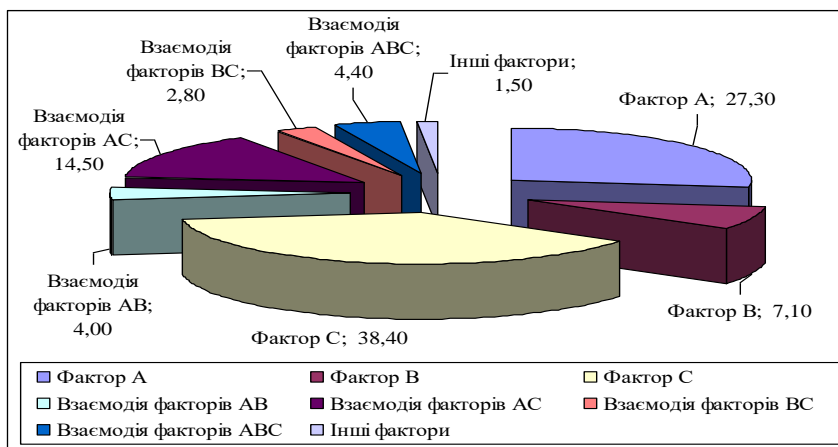


Рис. 3.14. Частки впливу сорту, строків садіння, глибини загортання бульб на вміст хлорофілу у листі картоплі пізньостиглих сортів в окремі фази розвитку (середнє за 2011–2016 рр.)

За результатами проведеного регресійного аналізу встановлено залежність між вмістом хлорофілу в листі рослин картоплі досліджуваних сортів в окремі фази розвитку одержані рівняння апроксимуючої залежності (табл. 2).

Таблиця 2

Математичні моделі залежності між вмістом хлорофілу в листі рослин картоплі досліджуваних сортів в окремі фази розвитку (середнє за 2011–2016 рр.)

Сорт	Рівняння регресії	Множинний коефіцієнт кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, R ²
Фаза бутонізації			
Диво	$y = 0,0065x + 2,2625$	97,1	94,9
Легенда	$y = 0,0061x + 2,2375$	82,3	68,4
Малинська біла	$y = 0,009x + 2,3104$	93,3	82,9
Віра	$y = 0,007x + 2,2968$	95,2	90,6
Слов'янка	$y = 0,0074x + 2,2275$	90,3	87,0
Надійна	$y = 0,0078x + 2,3203$	94,4	88,8
Оксамит	$y = 0,0061x + 2,1954$	86,7	75,2
Алладін	$y = 0,0062x + 2,214$	88,1	77,6
Дар	$y = 0,0075x + 2,3174$	96,3	92,7
Фаза цвітіння			
Диво	$y = 0,0124x + 2,3727$	92,9	81,9
Легенда	$y = 0,0113x + 2,3679$	89,9	74,3
Малинська біла	$y = 0,0131x + 2,3752$	96,1	94,8
Віра	$y = 0,0156x + 2,3359$	95,2	87,0

Продовження таблиці 2

Слов'янка	$y = 0,0142x + 2,3409$	94,5	83,6
Надійна	$y = 0,0112x + 2,4174$	96,7	89,3
Оксамит	$y = 0,0135x + 2,3037$	95,0	90,3
Алладін	$y = -0,0057x + 2,7124$	71,2	50,7
Дар	$y = 0,0108x + 2,373$	96,8	93,6
Фаза початок висихання бадилля			
Диво	$y = 0,0092x + 1,327$	95,3	91,3
Легенда	$y = 0,0067x + 1,3566$	94,7	93,0
Малинська біла	$y = 0,0075x + 1,3961$	98,6	97,9
Віра	$y = 0,0073x + 1,3835$	90,4	89,0
Слов'янка	$y = 0,0071x + 1,3415$	97,7	95,4
Надійна	$y = 0,0071x + 1,4056$	97,8	95,6
Оксамит	$y = 0,0064x + 1,3097$	96,0	92,1
Алладін	$y = 0,0069x + 1,3211$	97,4	94,9
Дар	$y = 0,0068x + 1,3973$	95,9	92,1

Якщо розглянути з теоретичної точки зору, то рослини, тканини яких добре насичені водою, відрізняються рихлим станом пластид у клітинах, що забезпечує їх більш активною поверхнею поглинання і протоплазма клітин у цьому разі більш рухливо через краще обводнення. В таких умовах доступ вуглекислого газу до кожної пластиди, кожного хлорофілового зерна краще порівняно з клітинами з більш насиченими і менш обводненими протоплазмою. Цим і зумовлюється більш висока асиміляційна здатність хлорофілу в більш розвинених рослин картоплі, це зрештою забезпечує високу продуктивність хлорофілу.

Таким чином, у рослин картоплі сортів різної стиглості кількість хлорофілу і його продуктивність підтверджуються значними коливаннями залежно від їх біологічних особливостей факторів зовнішнього середовища – строків садіння, глибини загортання бульб та погодно-кліматичних умов вирощування. Тому правильне і своєчасне застосування агротехнічних заходів, націлених на підвищення продуктивності хлорофілу при вирощуванні картоплі, сприяє значному підвищенню врожаю і покращення його якості.

Висновки і пропозиції. Результати наших досліджень свідчать, що упродовж вегетаційного періоду сорт та строк садіння мали найбільший вплив на вміст суми хлорофілів (a + b). У середньому за роки досліджень серед строків садіння виділяється II (03-05.05), серед сортів – середньостиглі сорти. зокрема, вміст хлорофілу у фазу цвітіння сорту Віра становив 2,67 мг/г сирової маси, Слов'янка – 2,64 і Малинська біла – 2,66 мг/г сирової маси за глибини загортання 10–12 см. Дослідженнями встановлено прямий тісний зв'язок між вмістом хлорофілу у листі та врожайністю рослин досліджуваних сортів картоплі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бондаренко Г.Л., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 370 с.
2. Гарбар Л.А. Формування і продуктивність асиміляційного апарату посівів ріпаку ярого. *Вісник Білоцерківського державного аграрного університету: збірник наукових праць*. 2008. № 52. С. 28–30.

3. Злобін Ю.А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми: Університет, 2004. 464 с.
4. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимических исследований растений. Ленинград: Агропромиздат, 1987. 430 с.
5. Моисейченко В.Ф., Трифонова М.Ф., Завирюха А.Х. Основы научных исследований в агрономии. Москва: Колос, 1996. 336 с.
6. Мусієнко М.М. Фотосинтез: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 1995. 247 с.
7. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. Физиология фотосинтеза. 1982. С. 7–33.

УДК 633.854.78:631.51:631.67(477.7)

ВПЛИВ СПОСОБІВ І ПРИЙОМІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

Марковська О.Є. – к.с.-г.н., с.н.с., доцент кафедри ботаніки та захисту рослин,
ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»
Урсал В.В. – к.с.-г.н., доцент кафедри ботаніки та захисту рослин,
ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»
Мороз С.Ю. – головний агроном,
ТОВ «Айленд»

У статті наведено результати досліджень із визначення агрофізичних властивостей та водного режиму темно-каштанового середньосуглинкового ґрунту за різних способів і прийомів основного обробітку під соняшник, встановлено рівень урожаю культури та розраховано економічну й енергетичну ефективність технологій вирощування соняшнику в умовах зрошення на півдні України.

Застосування в досліді полицевого обробітку ґрунту (оранка на 25–27), порівняно з безпліцевим глибоким та мілким обробітком, сприяло формуванню агрофізичних властивостей темно-каштанового середньосуглинкового ґрунту, наближених до оптимальних, ефективного використанню вологи на формування одиниці врожаю соняшнику, і забезпечило отримання врожайності культури по роках досліджень у межах 3,1–3,3 т/га з рівнем рентабельності 68%.

Ключові слова: способи й прийоми основного обробітку ґрунту, щільність складення ґрунту, сумарне водоспоживання, енергоємність, коефіцієнт енергетичної ефективності, зрошення.

Markovska O.E., Ursal V.V., Moroz S.Y. Influence of methods and ways of basic tillage of soil on the productivity of sunflower in the conditions of irrigation in the South of Ukraine

The article presents the results of studies on the study of agrophysical properties and the water regime of dark chestnut soils of medium-clay soil for different ways and methods of basic tillage for sunflower; the level of crop yield is established, and the economic and energy efficiency of sunflower growing technologies in irrigation conditions in the South of Ukraine is calculated.

The application of mouldboard ploughing (plowing 25–27 cm) in the science research, compared to mouldboardless deep and shallow tillage, contributed to the formation of agrophysical properties of dark chestnut soils, which were close to optimal, efficient use of moisture to form a