

JACEK BIŁOWICKI

Zakład Suszarnictwa i Przechowalnictwa
Płodów Rolnych IMER

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA JAKOŚĆ SUSZU Z ZIELONEK PODCZAS PRZECHOWYWANIA

Wstęp

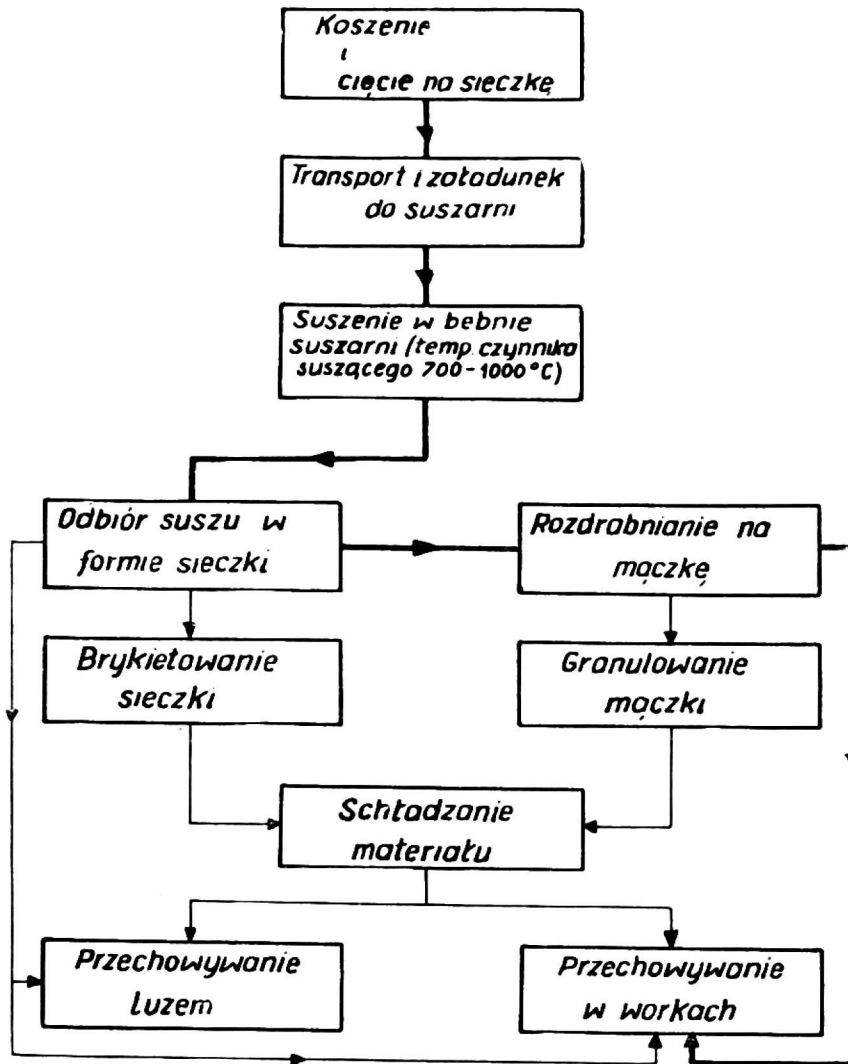
Suszenie zielonek przeprowadza się ^owspółcześnie dwoma sposobami: rolniczym i przemysłowo-rolniczym. Suszenie rolnicze, wykonywane przy użyciu środków dostępnych w każdym gospodarstwie rolnym, ma na celu produkcję siana — paszy zużywanej w gospodarstwie. W wyniku suszenia przemysłowo-rolniczego uzyskuje się zielony susz pastewny, przeznaczany przede wszystkim na potrzeby przemysłu paszowego.

Susz z zielonek, głównie jako składnik mieszanek treściwych, jest stosowany w żywieniu prawie wszystkich gatunków zwierząt gospodarskich. Cechą specyficzną suszu, oprócz stosunkowo znacznych ilości białka, jest wysoka zawartość witamin. Pasza ta zawiera poza karotenem witaminy E, K, B, C oraz ksantofile (84; 93); w suszu z lucerny występują ponadto tzw. czynniki niezidentyfikowane, stymulujące wzrost i rozwój zwierząt (54; 58; 89). Większość wspomnianych składników jest bardzo nietrwała i łatwo ulega zniszczeniu podczas suszenia i późniejszego przechowywania, syntetyczne zaś wytwarzanie znacznej części tych substancji jest kosztowne (93) i podobnie jak ich zastosowanie w mieszankach, nie zawsze jeszcze technicznie możliwe (30).

Za miernik wartości paszowo-witaminowej suszu przyjmowana jest na ogół zawartość karotenu (60; 89; 93), świadcząca pośrednio również o stabilizacji innych składników, jak ksantofil (37, 54) lub witamina E (55). Oprócz gatunku roślin, stadium i warunków ich wegetacji, na zawartość karotenu w suszu oraz jego trwałość wpływa technologia suszenia i sposób przechowywania produktu. Czynniki te decydują także o wartości białkowej i energetycznej suszu (9; 10).

Susz z zielonek produkowany jest obecnie w Polsce głównie w suszarniach bębnowych systemu Van den Broek. Technologię procesu produkcji suszu przedstawia schemat na rys. 1. Świeża zielonka cięta na sieczkę i dozowana do bębna suszarni podlega suszeniu gazami spalinowymi o temperaturze 700—1000°C. Odbierany z cyklona susz w formie sieczki kierowany jest do młynków bijakowych i po rozdrobnieniu

workowany. Mączkę przechowuje się przez kilka do kilkunastu miesięcy.



Rys. 1. Schemat technologii produkcji suszu z zielonek (linią grubą zaznaczono technologię stosowaną obecnie w praktyce)

Tabela 1

Straty składników pokarmowych podczas suszenia lucerny w suszarni bębnowej

	Sucha masa	Subst. organ.	Białko ogólne	Włókno surowe	Tłuszcz surowy	Bezazot. wyciąg.
Straty w stosunku do ilości składników zawartych w świeżej zielonce (%)	5,8	5,9	7,9	5,0	16,0	4,4

Wielkość i charakter strat składników pokarmowych i witamin, jakie zachodzą w procesie suszenia były niejednokrotnie przedmiotem prac badawczych (15; 16; 31; 96). Straty ilościowe suchej masy i jej podstawowych składników mogą ulegać niewielkim wahaniom, są one jednak stosunkowo nieznaczne i zachodzą przede wszystkim w wyniku

pylenia, zwęglania lub porywania drobnych cząstek suszu z prądem gazów odlotowych. Straty podstawowych składników podczas suszenia lucerny w suszarni bębnowej, określone w jednym z doświadczeń (16), zestawiono w tabeli 1.

Istotną rolę podczas suszenia spełnia zwłaszcza odpowiednie dobranie temperatury i czasu suszenia do wilgotności surowca, czego wynikiem jest stopień nagrzania materiału w przewodzie suszarni (12; 33; 39; 66). O ile w początkowej fazie suszenia intensywne parowanie wody unieumożliwia silniejsze nagrzanie materiału, przy obniżeniu wilgotności do około 10% dalsze oddziaływanie gorących gazów będzie szybko podnosiło temperaturę suszu. Nadmierne nagrzanie produktu obniża strawność białka i szkodliwie wpływa na karoten.

Końcowym etapem produkcji suszu może być granulowanie lub brykietowanie (11; 23; 73). Sprasowanie w granule lub brykiety zmienia własności fizyczne suszu, z czym wiążą się określone korzyści gospodarcze: zmniejszenie pylenia, ułatwienie transportu i przechowywania, oszczędność opakowań itp. Sprasowanie w drobne granule wymaga uprzedniego zmielenia suszu. W procesie brykietowania wysuszona zielonka w formie siczki zostaje sprasowana w kostki o kształcie prostopadłościennym lub cylindrycznym i większych rozmiarach. Granulowanie suszu z zielonki jest zabiegiem stosowanym dość powszechnie, zwłaszcza za granicą. Pod względem technologicznym proces ten jest na ogół opanowany. Technologia brykietowania pozostaje obecnie jeszcze w stadium eksperymentów, jednak z wielu względów metodę tę należy uznać za przyszłościową (20).

Zespół czynników działających w procesach granulowania i brykietowania może wywierać wpływ na jakość suszu, a przede wszystkim na trwałość zawartego w nim karotenu. Oceny wpływu granulowania oparte na wynikach badań są dość rozbieżne. Odnośnie wpływu brykietowania zakres informacji w literaturze jest dotychczas bardzo skromny.

Niezależnie od struktury, będącej efektem obróbki mechanicznej po suszeniu, materiał podlega następnie długotrwałemu przechowywaniu. Pozostaje w związku z tym zagadnienie wpływu różnych czynników na wielkość strat składników pokarmowych, a w szczególności karotenu, w konsekwencji zaś doboru optymalnych zabiegów i warunków przechowywania, zapewniających najniższe straty.

Cel i zakres opracowania

Przy obecnym rozwoju suszarnictwa zielonek w kraju ważne jest, aby produkcja i przechowywanie materiału zapewniały jego jednolitą i wysoką jakość, odpowiadającą w pełni wymaganiom norm krajowych

i zagranicznych. Nic dziwnego zatem, że w ciągu ostatnich lat wzrosło zainteresowanie technologią produkcji i magazynowania suszu z zielonek zarówno od strony praktycznej, jak i naukowo-badawczej. Istnieje potrzeba gromadzenia informacji, które mogłyby stanowić podstawę ulepszania istniejących obecnie rozwiązań technologicznych.

W tym opracowaniu starano się przedstawić w świetle wyników badań zagranicznych i nielicznych jeszcze krajowych wpływ różnych czynników na jakość suszu z zielonek i straty składników pokarmowych w czasie przechowywania materiału. Ograniczono się do omówienia trzech wybranych zagadnień:

- wpływu przechowywania na zmiany zawartości podstawowych składników pokarmowych w wysuszonej zielonce;
- czynników oddziałujących na trwałość karotenu w wysuszonej zielonce;
- wpływu struktury (postaci fizycznej) suszu na zmiany zachodzące podczas przechowywania.

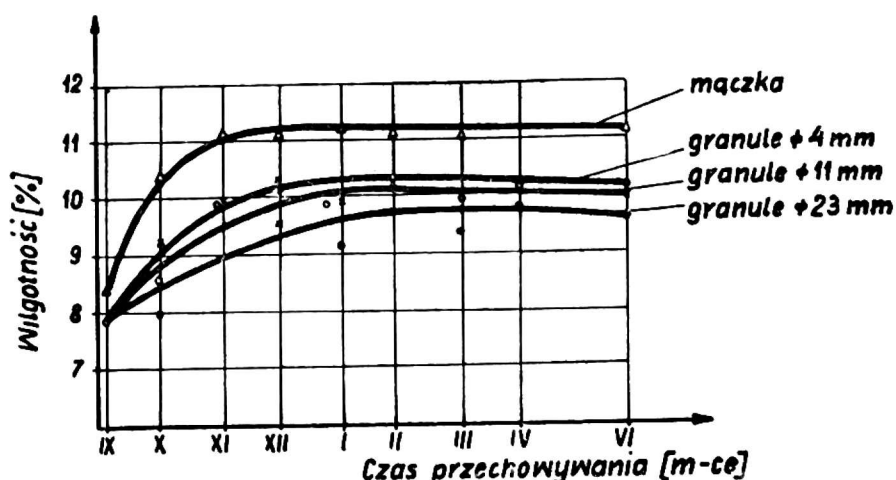
Część omawianych wyników może okazać się bezpośrednio przydatna dla praktyki. Rozbieżne niekiedy rezultaty i opinie autorów poszczególnych publikacji wymagają sprawdzenia lub potwierdzenia, tym samym nasuwają kierunek dla dalszych prac badawczych.

Wpływ przechowywania na zmiany zawartości podstawowych składników pokarmowych w wysuszonej zielonce

Dostępne w literaturze dane odnośnie zmian w składzie chemicznym i strat podstawowych składników pokarmowych podczas przechowywania dotyczą prawie wyłącznie siana, składowego w gospodarstwach, niejednokrotnie w prymitywnych warunkach i narażonego tym samym na znaczne straty. Przechowywanie suszu budzi zainteresowanie głównie ze względu na potrzebę zabezpieczenia wartości witaminowych, natomiast ubytki bardziej stabilnych składników podstawowych traktowane są raczej ubocznie.

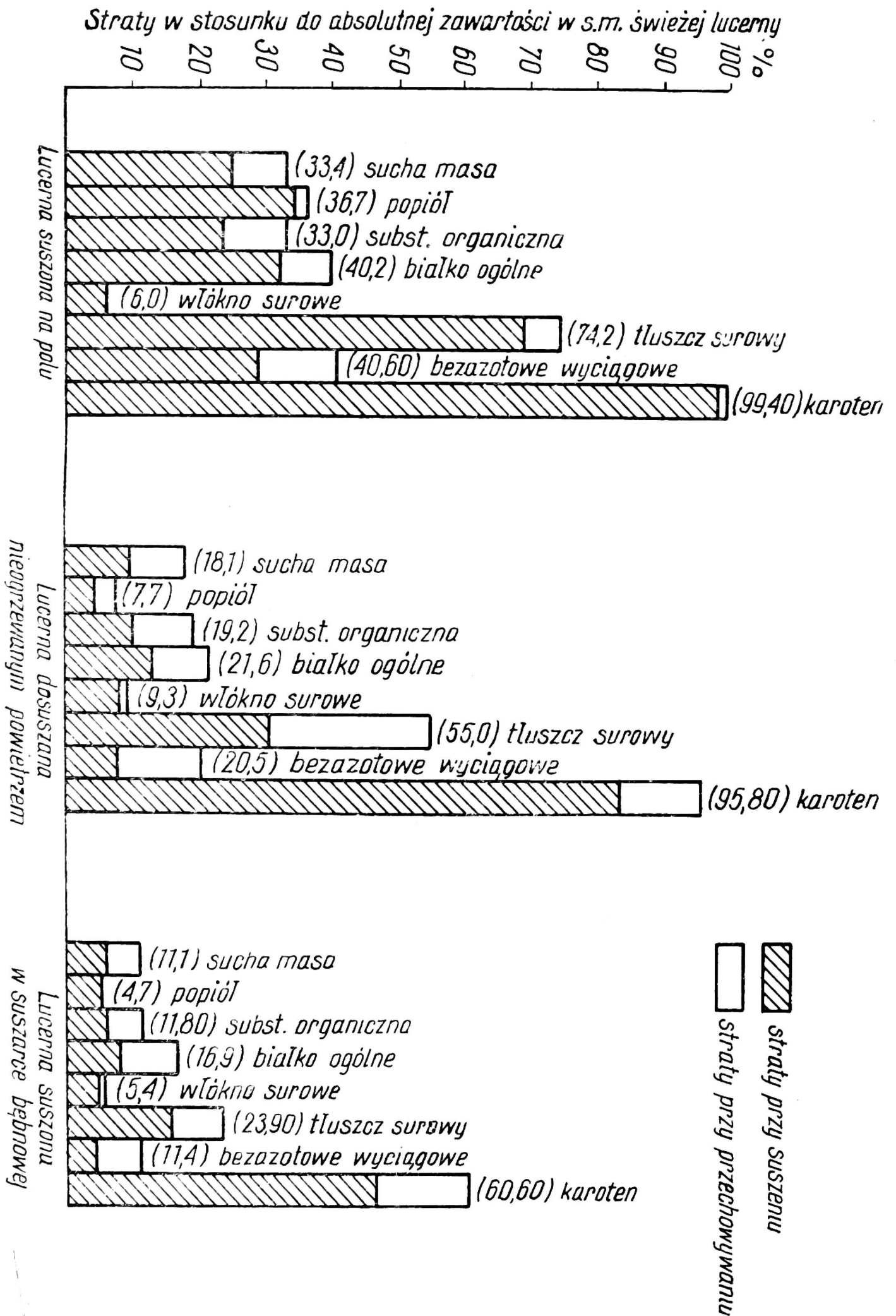
Pogarszanie się jakości wysuszonej zielonki podczas składowania zależy przede wszystkim od zabezpieczenia przed działaniem warunków atmosferycznych. Wprawdzie Knodth (52) oraz Carter (27) stwierdzają, że skład chemiczny i strawność siana i suszu zależą głównie od stadium wegetacji roślin, natomiast w znacznie mniejszym stopniu od sposobu przechowywania, to jednak nawet przy właściwym składowaniu mogą nastąpić zmiany w składzie chemicznym, powodując straty suchej masy. Za czynniki odgrywające szczególnie istotną rolę uważane są wilgotność materiału oraz zespół warunków przechowywania.

Przyjmuje się (59; 104), że optymalna wilgotność przechowywanego suszu wynosi 8—10%, Booth (24) i Boulenaz (25) zaś podają nawet 6—8%. Nadmierne obniżanie wilgotności wiąże się na ogół z przegrzaniem suszu w przewodzie suszarni (12), co zmniejsza strawność białka i innych składników (39; 66). Z kolei przekroczenie wilgotności 12% stwarza możliwości pleśnienia suszu (46), a tym samym — strat. Obowiązująca w kraju norma (22) podaje dopuszczalny zakres wilgotności suszu od 7 do 12%. Przy stosunkowo niskiej zawartości wilgoci susz jest materiałem higroskopijnym, jego wilgotność wykazuje tendencję wzrostową z czasem przechowywania, dążąc do stanu równowagi z wilgotnością otaczającego powietrza (18; 77), co ilustruje wykres na rys. 2. Przyrost wilgotności granul jest mniejszy niż mączki (17; 18); higroskopijność granul maleje ze wzrostem ich średnicy. Opakowanie w worki zmniejsza przyrost wilgotności suszu w porównaniu z przechowywaniem luzem. Nie bez znaczenia jest utrzymanie wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu magazynowym poniżej 72%.



Rys. 2. Zmiany wilgotności suszu z traw podczas przechowywania (wartości średnie dla materiałów w różnej strukturze)

Skład chemiczny suszu przy niskiej jego wilgotności jest stosunkowo stabilny. Watson i Nash (96) podają, że zawartość podstawowych składników suszu o wilgotności do 10% nie ulega istotnym zmianom nawet przy długotrwałym przechowywaniu. Straty ilościowe suchej masy podczas przechowywania suszu przez 12 miesięcy mogą wykazywać wahania (17; 18) zależnie od struktury materiału i rodzaju opakowań, na ogół jednak nie przekraczają 1%. Potwierdzają to wyniki Ortha i wsp. (74), a także rezultaty innych autorów (1; 78). Stwierdzono także, że ubytki składników pokarmowych w procesie suszenia (16) są większe niż straty powstające w trakcie późniejszego kilkumiesięcznego przechowywania suszu (rys. 3). Podczas przechowywania straty za-



Rys. 3. Łączne straty składników pokarmowych w lucernie suszonej różnymi metodami i przechowywanej przez 7 miesięcy

chodzą głównie przez pylenie (104); skład chemiczny suszu ulega niewielkim zmianom, obejmującym najczęściej spadek zawartości tłuszczu surowego i substancji bezazotowych wyciągowych, przy wzroście zawartości włókna surowego (16; 17; 28; 29). W tabeli 2 zestawiono wielkości bezwzględnych strat składników pokarmowych w suszu z lucerny, przechowywanym przez okres 12 miesięcy (17).

Tabela 2

Zestawienie bezwzględnych ubytków składników pokarmowych podczas przechowywania suszu z lucerny przez 12 miesięcy

Struktura suszu	Ubytki bezwzględne w procentach					
	sucha masa	subst. organ.	białko ogólne	włókno surowe	tłuszcz surowy	bezazotowe wyciągowe
Mączka	0,39	0,36	0,62	+0,25	8,81	0,77
Granulat	0,35	0,81	0,02	+0,29	5,79	1,33

Przy naturalnym wysuszeniu siana lub dosuszeniu powietrzem nieogrzewanym uważa się za optymalną wilgotność 16—18⁰/₀; niższe wilgotności siana są trudne do osiągnięcia (77). Hoffman i Bradshaw (43) przechowując siano o różnej wilgotności przez 1—7,5 miesiąca oznaczali straty suchej masy. Przy wilgotności 20—25⁰/₀ straty wyniosły około 6%, najwyższe ubytki, dochodzące do 22⁰/₀, obserwowano przy wilgotnościach powodujących zagrzewanie się siana. Straty te dotyczyły głównie tłuszczów i cukrów, przy wyższych wilgotnościach obserwowano także obniżenie zawartości białka surowego oraz błonnika. Również Murdoch i wsp. (72) stwierdzili, że straty suchej masy zachodzące podczas przechowywania pozostają w zależności od wilgotności materiału. Przeprowadzone doświadczenia (16; 27; 40) wykazały również, że siano wysuszone naturalnie jest bardziej podatne na straty w czasie przechowywania niż zielonka suszona sztucznie. Przechowując przez 7 miesięcy w jednakowych warunkach lucernę wysuszoną na polu, nieogrzewanym powietrzem i w suszarni bębnowej ustalono (16), że ubytki suchej masy wyniosły odpowiednio 8,8; 8,7 i 5,5⁰/₀; we wszystkich partiach lucerny wystąpił wzrost zawartości włókna, obniżała się natomiast zawartość bezazotowych wyciągowych. Ten charakter zmian uznawany jest przez wielu autorów (27; 28; 43) za wskaźnik pogorszenia się jakości siana.

Shepperson (86) podaje, że ciężar objętościowy siana przechowywanego w formie siewki nie powinien przekraczać 80—90 kg/m³, zwłaszcza przy wilgotności powyżej 20⁰/₀. Przekroczenie tych wielkości stwarza możliwość intensywnego zagrzewania się siana do temperatury 50°C i powyżej, z czym wiążą się znaczne straty suchej masy i ob-

nizenie strawności składników odżywczych, zwłaszcza białka (6; 31; 96; 108). Należy zaznaczyć, że na każde 3380 kcal ciepła powstającego w procesie samozagrzewania się siana zostaje zużyty 1 kg masy organicznej, głównie łatwo rozpuszczalnych węglowodanów zawartych w roślinach. Najbardziej podatne na zagrzewanie się jest siano z młodych roślin motylkowych i traw, zwłaszcza przy obfitym nawożeniu azotowym. Intensywne zagrzewanie się siana złożonego w dużej masie może doprowadzić do samozapłonu; jako temperatura, przy której możliwy byłby samozapłon podawane jest 280—320°C (109).

Z danych przytaczanych przez Greenhilla i wsp. (40) wynika, że straty suchej masy, suchej masy strawnej i wartości skrobiowej w sianie przechowywanym w stogu stanowiły 5—10%. Podobne wyniki podają Watson i Nash (96): siano z traw przetrzymywane w stodole przez 5—6 miesięcy miało straty suchej masy 5,2%, białka 9,0% i wartości skrobiowej 6,8%. Skład chemiczny siana z lucerny dosuszanego nieogrzewanym powietrzem i przechowywanego przez 7 miesięcy (16) pokazano w tabeli 3.

Tabela 3

Skład chemiczny lucerny wysuszonej nieogrzewanym powietrzem przed i po składowaniu przez okres 7 miesięcy

Wysuszone lucerna	Wilgotność %	Zawartość w suchej masie w procentach					
		subst. organ.	białko ogólne	włókno surowe	tłuszcz surowy	bezożot. wyciąg.	karoten mg/kg
Przed przechowy- waniem	16,87	83,93	22,67	22,92	2,45	41,89	26
Po przecho- wywaniu	23,09	89,26	22,58	25,06	1,75	39,87	7

Couchman (28; 29) badał w warunkach laboratoryjnych wpływ temperatury (−18, +21 i +32°C) na zawartość składników pokarmowych w wysuszonej zielonce z różnych roślin, przechowywanej przez okres 8—9 miesięcy. Nie uzyskał on istotnych różnic w zawartości białka ogólnego i popiołu; ze wzrostem temperatury przechowywania ulegała obniżeniu zawartość cukrów rozpuszczalnych i tłuszczu, natomiast wzrastała zawartość włókna. W badaniach Greenhilla i wsp. (40) nawiązujących do prac Couchmana, przechowywano przez około 9 miesięcy wysuszony rajgras, koniczynę i lucernę o wilgotnościach 7, 12 i 17% w kilku temperaturach (w zakresie od −18 do +36°C). Straty suchej

masy podczas przechowywania wzrastały z temperaturą i wilgotnością, osiągając najwyższą wartość około 80%. Zmiany zawartości poszczególnych składników potwierdzają na ogół wyniki Couchmana.

Reasumując wyniki omawianych prac można stwierdzić, że straty suchej masy i zawartych w niej podstawowych składników pokarmowych uzależnione są przede wszystkim od wilgotności przechowywanego materiału oraz temperatury, w jakiej się on znajduje. Należy zaznaczyć, że temperatura osiągana przez materiał przechowywany zwłaszcza w dużych partiach wskutek samozagrzewania się, wynikającego z rozwoju procesów mikrobiologicznych i biochemicznych w sianie, pozostaje proporcjonalna do jego wilgotności. Ubytki składników pokarmowych wzrastają z wilgotnością przechowywanego materiału i temperaturą; obejmują one głównie węglowodany i tłuszczy, a w nieco mniejszym stopniu białko. Temperatura przechowywania wpływa na strawność białka i innych składników. O ubytkach zawartości włókna podczas przechowywania wspominają tylko Hoffman i Bradshaw (43).

Czynniki wpływające na trwałość karotenu w wysuszonej zielonce

Znacznie więcej uwagi przypisuje się stabilizacji karotenu zawartego w suszach z zielonek. Zawartość karotenu w suszach może być wysoka, dochodząc nawet do 450—500 mg/kg suchej masy (24; 57; 58). Bogatsze w karoten są na ogół susze z traw niż z motylkowych (59; 74; 79; 85); koniczyna daje zazwyczaj susz o wyższej zawartości karotenu niż lucerna (54). Ze względu na sposób suszenia siano z zielonek i traw zawiera z reguły mniejsze ilości karotenu (16; 90). Wg klasyfikacji proponowanej przez Wierzchowskiego i Basaja (102) siano zawierające powyżej 50 mg/kg karotenu można uznać już za bardzo dobre. W sianie z lucerny dosuszonym nieogrzewanym powietrzem zawartość karotenu może dochodzić do 100 mg/kg (90).

Karoten występuje w suszach w postaci trzech izomerów przestrzennych: α , β , γ . Według Tangla (90) ponad 90% karotenu zawartego w suszach stanowi karoten β , najbardziej aktywny jako prowitamina A, chociaż podczas suszenia może zachodzić częściowa stereoizomeryzacja (93). Analitycznie oznacza się na ogół wszystkie izometry łącznie (79; 91).

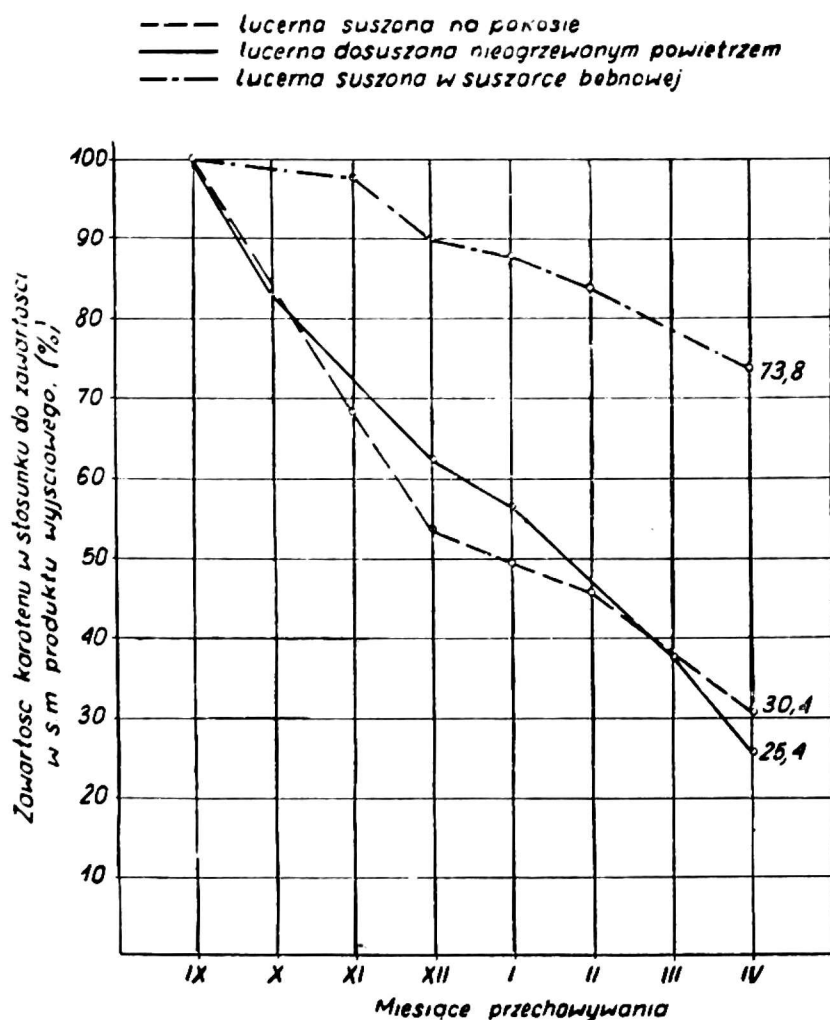
Zawartość karotenu w suszu jest wyższa we wcześniejszych stadiach wegetacji roślin (96; 100; 101), aczkolwiek wyniki Mitchella i Silkera (71) wskazują, że w suszu z młodej lucerny karoten ginął szybciej niż w zbieranej podczas kwitnienia. Istotną rolę odgrywają warunki wegetacji roślin (49), a zwłaszcza stopień nasłonecznienia (63) oraz nawożenie. Rośliny pochodzące z II pokosu mogą zawierać nawet dwukrotnie

więcej karotenu niż porost I pokosu (88), jednak według Kreygera i Huismana (60) naturalna trwałość karotenu z I pokosu lucerny jest wyższa niż z następnych.

W innych pracach (1; 17) natomiast zaobserwowano, że karoten z II pokosu lucerny okazał się bardziej stabilny niż z I pokosu; zjawisko to można tłumaczyć korzystną zmianą warunków przechowywania w magazynie w późniejszych miesiącach jesiennych (obniżenie temperatury powietrza) i nie musi występować przy stałych warunkach przechowywania.

Śród czynników decydujących o trwałości karotenu w suszu podczas przechowywania wymienia się (24; 59; 74) następujące:

- warunki suszenia zielonki,
- zawartość bezwzględna karotenu w suszu,
- sposób opakowania i ochrona suszu przed dostępem światła,
- wilgotność materiału,
- temperatura otoczenia,
- zapobieganie dostępowi tlenu i ew. przechowywanie w atmosferze beztlenowej,
- zastosowanie preparatów przeciwutleniających, tzw. antyoksydantów,
- postać fizyczna, wynikająca ze sposobu przerabiania suszu.



Rys. 4. Ubytki karotenu w okresie przechowywania lucerny

W procesie szybkiego suszenia w wysokich temperaturach, przy prawidłowym zsynchronizowaniu temperatury i czasu działania czynnika suszącego oraz wilgotności materiału, ubytki karotenu są na ogół nieznaczne. Dijkstra (31), podobnie jak Watson i Nash (96), oceniają je, zależnie od nagrzania suszonego materiału, na 5—10%, aczkolwiek w niektórych opracowaniach podawane są wartości wyższe, dochodzące nawet do 35% (16; 63). Badania Thompsona i wsp. (93) nad trwałością karotenu w suszach pochodzących z suszarni bębnowych różnych typów nie wykazały istotnych różnic. Natomiast lucerna wysuszona w suszarni bębnowej wykazywała większą stabilność karotenu niż ten sam materiał wysuszony na polu i dosuszany nieogrzewanym powietrzem (16), co ilustruje wykres na rys. 4.

Na podstawie wieloletnich badań Kreygera i Huismana (59; 60; 61), a także pracy Thompsona i wsp. (93) zostało stwierdzone, że szybkość rozpadu karotenu podczas przechowywania w tych samych warunkach jest proporcjonalna do bezwzględnej zawartości tego składnika w suszu. W związku z tym zalecane jest przedstawianie ubytków karotenu w procentach zawartości wyjściowej, co umożliwia porównywanie jego stabilności w różnych suszach. W wielu opracowaniach (54; 57; 58; 70) miernikiem trwałości karotenu w suszu jest długość okresu czasu, w ciągu którego zawartość tego składnika osiąga połowę zawartości wyjściowej, czyli tzw. okres połowicznego rozkładu karotenu, umożliwiając również porównywanie trwałości karotenu w różnych partiach suszu.

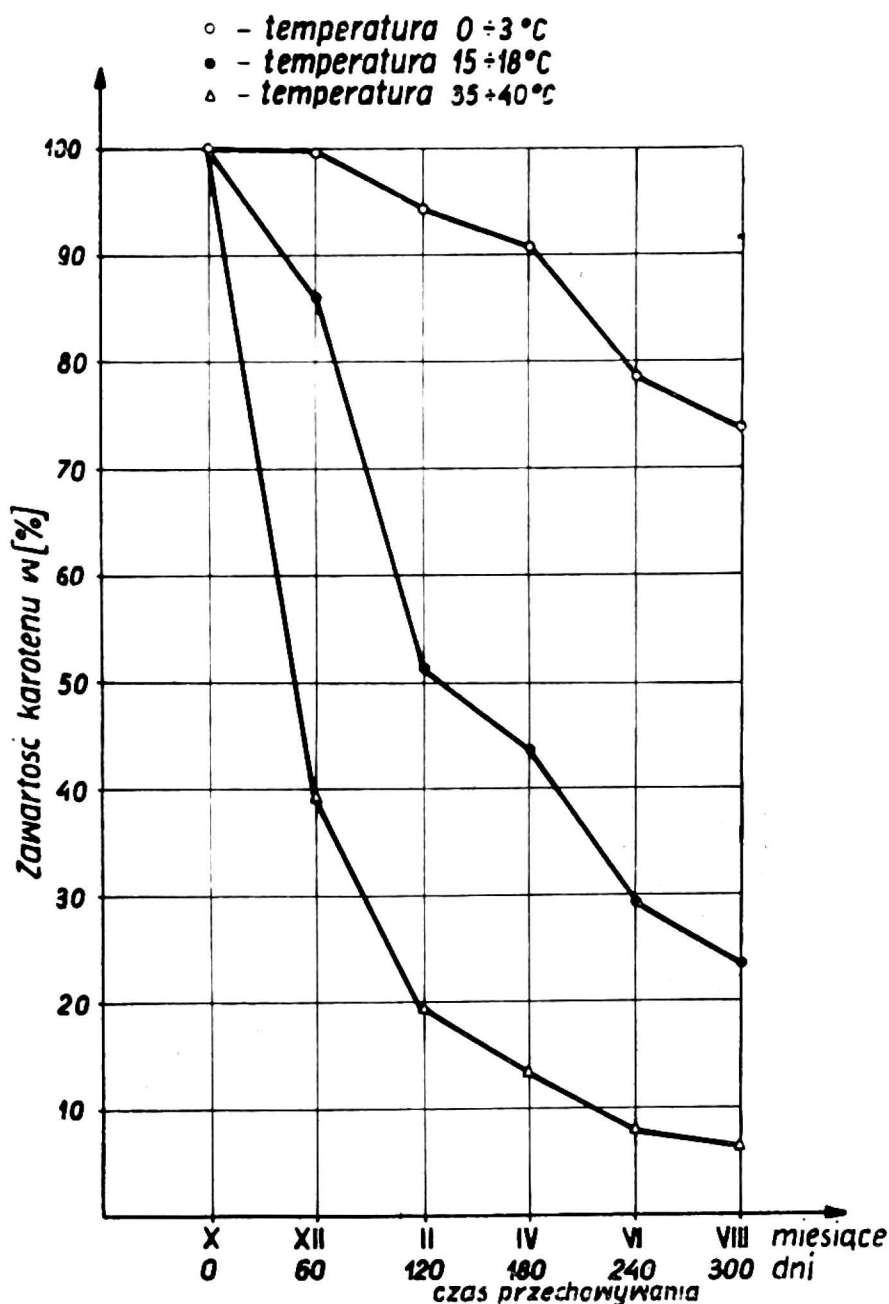
Niszczące działanie światła na karoten we wszystkich stadiach produkcji i przechowywania suszu wykazują autorzy wielu opracowań (30; 74; 88; 99). Kunffy (63) stwierdził mniejsze ubytki karotenu w lucernie przechowywanej w budynkach niż w stertach na polu, wyjaśniając ten fakt brakiem dostępu światła. Natomiast Orth i wsp. (74) podają, że przy przechowywaniu w budynkach straty karotenu są na ogół wyższe ze względu na panującą tam wyższą temperaturę. Jak widać opinie na ten temat są rozbieżne. Na warunki oświetlenia oraz temperaturę i wilgotność powietrza w magazynie suszu zwracają również uwagę Astrup (3) i Paramzin (78). Z doświadczeń radzieckich (104) wynika, że przy pozostałych warunkach stałych, straty karotenu w mączce z traw przechowywanej na świetle wynosiły 80,3%, w ciemności zaś 61%; ponadto opakowanie w worki papierowe obniżało straty karotenu o 6—10%.

Susz przechowywany może być luzem w pryzmach, zbiornikach lub w opakowaniach. Powszechnie zalecaną formą opakowań, zwłaszcza dla mączki, są 2—3-warstwowe worki papierowe (1; 24; 59). Booth (24) wspomina o celowości wprowadzenia w workach warstwy czarnego pa-

pieru (tzw. wkładki bitumicznej), ograniczającej dopływ światła i mniej przepuszczalnej dla wilgoci niż zwykły papier. Przeprowadzano także z dobrym wynikiem próby pakowania suszu-mączki w worki z czarnej folii plastikowej (24). Orth i wsp. (74) nie stwierdzili wyraźnych różnic w ubytkach karotenu w mączce z lucerny przechowywanej w skrzyniach drewnianych, workach papierowych i workach bitumicznych. Podobnie doświadczenie z przechowywaniem suszu z traw w formie mączki i granul luzem i w różnych opakowaniach nie dało wyraźnych efektów co do trwałości karotenu (18).

Destrukcyjny wpływ temperatury na karoten jest podkreślany w większości znanych opracowań. Badania Huismana (45) wykazały, że znaczne straty karotenu wiążą się z zagrzewaniem się świeżej zielonki przed suszeniem; przeprowadzano w związku z tym próby schładzania siewki na przyczepach. W pracy Miliča i wsp. (69) zwraca się uwagę, że zbyt wysoka temperatura suszenia może zwiększać straty karotenu, co jednak nie znajduje potwierdzenia w doświadczeniach innych (93).

Niezależnie od działania innych czynników, straty karotenu podczas przechowywania rosną wraz z temperaturą (3; 74; 82; 100; 101). Guilbert (41) stwierdził, że poniżej 5°C straty karotenu prawie nie zachodzą, wzrost zaś temperatury przechowywania o 10°C podwaja ubytek karotenu w suszu. W doświadczeniu laboratoryjnym z przechowywaniem suszu z traw w trzech poziomach temperatur uzyskano wyniki przedstawione w formie wykresu na rys. 5 (19). Na podstawie badań holenderskich (58; 60) opracowany został wykres empirycznej zależności strat karotenu od temperatury przechowywania suszu (rys. 6); zwraca się ponadto uwagę na czas oddziaływania podwyższonej temperatury, zalecając intensywne schładzanie suszu po suszeniu i granulowaniu — przed magazynowaniem. Susz-mączka przy workowaniu osiąga temperaturę 35—45°C (13; 15), zależnie od pracy młynków bijakowych. Granulat opuszcza matrycę nagrzaną do 70—100°C (17; 18). Booth (24) podkreśla, że susz z zielonek będąc złym przewodnikiem ciepła utrzymuje podczas przechowywania podwyższoną temperaturę przez dłuższy okres. Z badań Huismana (46) wynika, że przy dłuższym przechowywaniu zmiany temperatury masy składowanego suszu odpowiadają z pewnym opóźnieniem wahaniom temperatury powietrza w magazynie. Próby obniżania temperatury składowania poprzez umieszczanie agregatów chłodzących (24) we wnętrzu przemy suszu nie znalazły szerszego zastosowania. Kryger i Huisman (61) zastosowali eksperymentalnie wentylację powietrzem atmosferycznym zgranulowanego suszu w zbiornikach; stabilność karotenu wzrosła o około 50%, konieczne jest jednak uwzględnianie wilgotności powietrza i suszu, aby nie nawilgacać materiału. W USA stosowane jest w skali produkcyjnej magazynowanie suszu w chłodniach (82; 93).

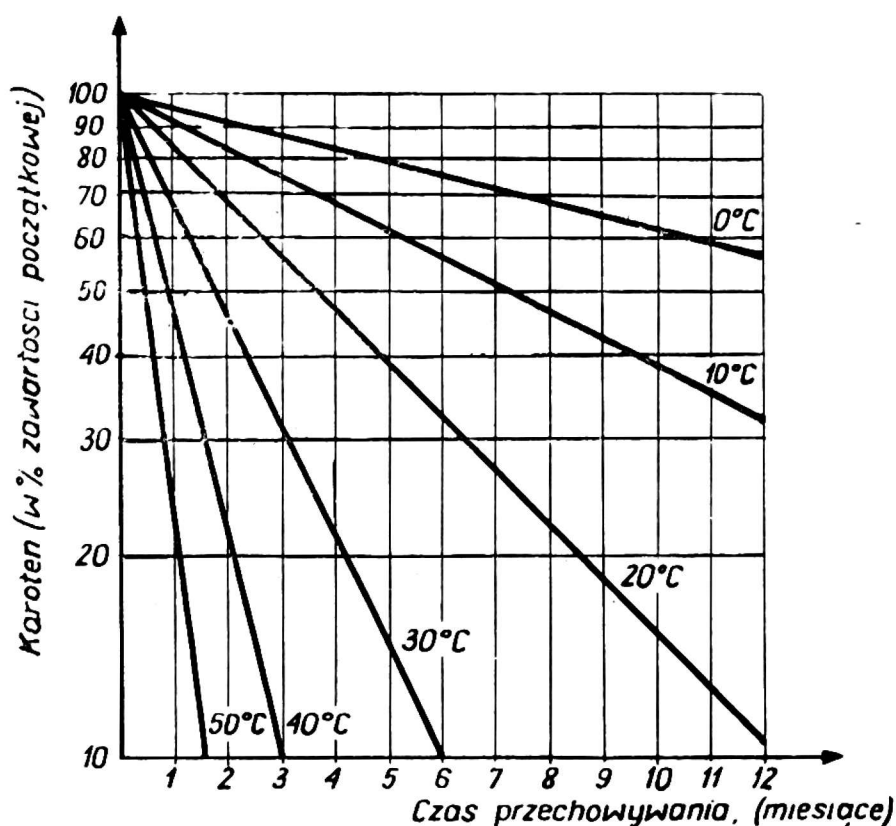


Rys. 5. Wpływ temperatury przechowywania na trwałość karotenu w suszu z traw (zawartość początkowa karotenu w suszu 198 mg/kg s.m.)

Wpływ na stabilność karotenu w suszu wywiera zarówno wilgotność względna otaczającego powietrza, jak wilgotność samego materiału. Niemniej wyniki przytaczane przez różnych autorów wykazują rozbieżności. Jako optymalną podaje się wilgotność względną powietrza w magazynie 70—75%. Orth i wsp. (74) analizując wpływ tych czynników stwierdzają, że na ogół przy wyższej wilgotności względnej powietrza uzyskuje się lepsze rezultaty, zwłaszcza przechowując susz w naczyniach zamkniętych. Jednak w doświadczeniach tych autorów uzyskano lepszą stabilność karotenu w suszu z lucerny przy wilgotności względnej powietrza 50% niż 68%.

Przy wilgotności względnej powietrza w magazynie równej 70% susz przechowywany luzem może posiadać w zewnętrznej warstwie wil-

gotność około 12⁰/₀ (24). W doświadczeniach (93) z przechowywaniem suszu z lucerny o różnej wilgotności: a) poniżej 6⁰/₀, b) 8—9⁰/₀, c) 10—12⁰/₀ nie stwierdzono istotnego wpływu wilgotności suszu na stabilność karotenu. Wyniki badań węgierskich (38) wykazują natomiast wyraźny wpływ wilgotności suszu z lucerny na trwałość zawartego w nim karotenu. Susz o zawartości karotenu 252 mg/kg i wilgotnościach 1,9⁰/₀; 2,8⁰/₀; 5,2⁰/₀; 6,1⁰/₀ i 12,2⁰/₀ przechowywano przez 22 tygodnie. Ubytek karotenu był odwrotnie proporcjonalny do wilgotności suszu w badanym zakresie. Natomiast przy wilgotnościach suszu 17,4⁰/₀ oraz 20,6⁰/₀ straty karotenu były już dość znaczne (około 75 i 85⁰/₀) i wystąpiły wyraźne objawy pleśnienia. Zbyt niska wilgotność łączy się z reguły z przegrzaniem materiału w czasie suszenia, co wywiera dodatkowo niekorzystny efekt.



Rys. 6. Wpływ temperatury przechowywania na trwałość karotenu w mączce z lucerny (wg Kreygera i Huismana)

Przy przechowywaniu mączki z lucerny w workach papierowych stwierdzono (74), że w ciągu tego samego czasu ubytek karotenu przy wilgotności mączki 5⁰/₀ wynosił 37,6⁰/₀, przy wilgotności zaś 10⁰/₀ — tylko 13,2⁰/₀. Podobnie Watson i Nash (96) podają, że przy wilgotności suszu 10—15⁰/₀ karoten wykazuje znaczną stabilność, natomiast przy wilgotności suszu 2,5—5⁰/₀ straty są stosunkowo znaczne. Z badań radzieckich (104) wynika, że przy wilgotności początkowej suszu 11—13⁰/₀, wzrastającej do 16—17⁰/₀ po roku przechowywania straty karotenu wy-

ności 61—73%; jednocześnie przy wilgotności początkowej 6—7,2% wzrastającej do 10—11% straty karotenu wyniosły 51—52%. Jako optimum przyjmowana jest na ogół wilgotność suszu 8—10%. Należy jednak zaznaczyć, że w normalnych warunkach przechowywania łącznie z wilgotnością oddziałuje na karoten zespół innych czynników, jak temperatura, tlen z powietrza, odgrywających bardziej istotną rolę (4). Dlatego też wnioski dotyczące wpływu wilgotności suszu na stabilność karotenu różnią się w poszczególnych opracowaniach.

Halverson i Hart (42), Booth (24), Kohler (54) i szereg innych autorów zwracają uwagę na szkodliwe oddziaływanie tlenu z powietrza na trwałość karotenu. Zaleca się w związku z tym usuwanie powietrza z pomiędzy cząstek suszu oraz zabezpieczanie przed dalszym dostępem powietrza. Booth (24) przytacza wyniki doświadczenia, gdzie mączkę z traw o zawartości karotenu 340 mg/kg przechowywano w temperaturze 26°C bez dostępu oraz z dostępem powietrza; po upływie 37 tygodni straty karotenu wynosiły odpowiednio 24% i 83%. Również otwieranie worków zawierających przechowywany susz zwiększało ubytki karotenu. Jako zabezpieczenie przed dostępem tlenu z powietrza zalecane jest pakowanie mączki w worki papierowe wielowarstwowe, celofanowe lub polietylenowe (104). Powietrzno-szczelne opakowania dają pozytywny rezultat tylko wówczas, o ile zawartość tlenu w ich wnętrzu nie przekracza 3% (59).

Taylor i Russel (92) przechowując mączkę z lucerny w próżni w temperaturze około 0°C przez 12 miesięcy stwierdzili ubytki karotenu 23%, natomiast próbki tej samej mączki zamknięte w szczelnych butlach, zawierających jednak powietrze, utraciły 70% karotenu. Podobne wyniki przytaczają inni autorzy (105). Przechowywanie w próżni nie może być jednak stosowane w praktyce ze względów ekonomicznych. Hoffman i wsp. (44) przeprowadzili w związku z tym laboratoryjne próby przechowywania mączki z lucerny przez 112 dni w temperaturze 40°C w szczelnych pojemnikach, z których usunięto częściowo tlen, wprowadzając w zamian N₂ lub CO₂. Wielkość strat karotenu była liniowo zależna od zawartości tlenu w atmosferze pojemników: przy zawartości O₂ równej 3% straty wyniosły zaledwie 4,6%, przy zawartości zaś O₂ wynoszącej 0,3% — strat karotenu nie zaobserwowano. Natomiast normalny dostęp powietrza przyspieszał znacznie rozkład karotenu w suszu. Kreyger i Huisman (59) podają, że przechowywanie suszu w atmosferze gazu obojętnego może dać dobre efekty nawet przy temperaturze 30°C.

Metoda przechowywania suszu, głównie w formie granul, w hermetycznych zbiornikach z gazem obojętnym przyjęła się w praktyce w USA (54; 82; 93). Atmosfera w tych zbiornikach na ogół składa się

z 87% N₂, 12% CO₂ i 1% O₂, CO i H₂ (50). Gaz wytwarzany jest podczas spalania paliw płynnych w specjalnych generatorach. Przechowywany w tych warunkach susz zachowuje około 95% karotenu przez 7—8 miesięcy. Według Kohlera (54) jest to metoda stosunkowo tania w eksploatacji, jednak wymagająca dużych nakładów inwestycyjnych, a zatem możliwa do zastosowania tylko w dużych przedsiębiorstwach przemysłowych. Kreyger (58) docenia wprawdzie walory techniczne tego sposobu, jednak uważa za zbyt kosztowne wprowadzanie go w praktyce w Holandii.

Mechanizm rozkładu karotenu w suszach z zielonek nie jest w pełni poznany. Wiadomo, że utlenianie karotenu zachodzi w wyniku procesów enzymatycznych, fotochemicznych i termicznych (59; 74; 88; 100; 101). Przy badaniach nad trwałością karotenu w suszu z lucerny zwrócono uwagę (93) na obecność naturalnych substancji przeciwutleniających, co potwierdza się także w wynikach doświadczeń Bickoffa i wsp. (8) oraz Kohlera i wsp. (55). Do tych naturalnych antyoksydantów występujących przede wszystkim, a być może tylko w lucernie zalicza się zwłaszcza tokoferol, niektóre karotenoidy (79) oraz tzw. substancje niezidentyfikowane (58). Pod względem trwałości karotenu susz z lucerny przewyższa na ogół susz z traw, o czym świadczą także wyniki (17; 18) zestawione w tabeli 4. Zawartość karotenu w suszu z traw była tu wprawdzie wyższa, lecz rozkład tego składnika zachodził szybciej niż w lucernie; można to prawdopodobnie tłumaczyć z jednej strony działaniem naturalnych przeciwutleniaczy w lucernie, z drugiej zaś wspomnianą prawidłowością, że przy wyższej zawartości bezwzględnej karotenu jego rozkład zachodzi bardziej intensywnie.

Tabela 4

Porównanie trwałości karotenu w suszu z lucerny i traw

Rodzaj materiału	Struktura i sposób przechowywania suszu	Zawartość początkowa karotenu mg/kg s. m.	Czas połowicznego rozkładu karotenu — dni
Lucerna	mączka — worki papierowe	146	356
	granulat — worki papierowe	125	334
	średnio	135	345
Trawy	mączka — worki papierowe	281	252
	granulat — worki papierowe	289	128
	średnio	285	190

Prowadzone są również badania nad zastosowaniem różnych naturalnych i syntetycznych dodatków w celu stabilizacji karotenu w suszach. Dodatek 1,5⁰/₀ melasy nie dawał wyraźnego efektu stabilizującego (74). Mitchell i wsp. (70) dodawali do suszu tłuszcz roślinny w różnych proporcjach, uzyskując wydatny wzrost stabilności karotenu przy dodatku 80 funtów oleju na tonę suszu. Bickoff i wsp. (8) podają, że zwiększenie dodatku tłuszczu roślinnego lub zwierzęcego od 1 do 5⁰/₀ podnosiło trwałość karotenu w suszu. Autorzy ci uważają, że dodatek tłuszczu uaktywnia zawarte w lucernie naturalne antyoksydanty. Dodatek tłuszczu jest ponadto czynnikiem przeciwdziałającym pylistości suszu (82), może też spełniać rolę nośnika syntetycznego antyoksydantu. Wspomina się również o dodatnim działaniu tłuszczu na strawność związków białkowych w suszu (79). W skali produkcyjnej w USA tłuszcz jest na ogół dodawany do suszu w ilości 1—8⁰/₀ wagi, ulega dokładnemu wymieszaniu z materiałem w młynkach, wpływając korzystnie na zabarwienie i wygląd suszu oraz ułatwiając proces granulowania.

Wyniki doświadczeń z zastosowaniem syntetycznych preparatów przeciwutleniających do stabilizacji karotenu w suszach podawane są w licznych opracowaniach (3; 24; 54; 59; 70; 74; 93). Przebadano wiele różnych związków chemicznych; niektóre z nich okazały się zbyt drogie, inne dawały efekty toksyczne w doświadczeniach ze zwierzętami. Dlatego też dotychczas nie we wszystkich krajach dozwolone jest ich stosowanie; m. in. ustawodawstwo polskie ogranicza używanie syntetycznych związków konserwujących.

Śród preparatów stosowanych, głównie w USA, do skutecznego utrwalania karotenu w suszu z zielonek wymienia się zasadniczo dwa związki: a) 6-etoksy-1,2-dihydro-2,2,4-trójmetylocholinę, znaną pod nazwą firmową Santoquin, Ethoxyquin lub Santoflex oraz b) butylohydroksytoluen, znany w literaturze jako BHT, o różnych nazwach firmowych (np. Topanol). Doświadczenia żywieniowe nie wykazały szkodliwego działania tych preparatów na zwierzęta, nawet w stosunkowo większych dawkach (48; 82).

Początkowo antyoksydanty dozowano w postaci zawiesiny tłuszczowej (70; 82; 89), stosując dawki 0,015—0,020⁰/₀ preparatu i 1—2⁰/₀ półpłynnego tłuszczu roślinnego lub zwierzęcego. Kreyger i Huisman (59) stwierdzili nawet brak efektywnego działania stabilizującego tych związków bez dodatku tłuszczu. Następnie zaczęto wprowadzać preparaty stabilizujące karoten możliwe do zastosowania w emulsji wodnej oraz na sucho, w formie proszku (30; 58; 93). Wyniki badań Kreygera i Huismana (60) wykazały, że dodatek antyoksydantów zwiększa około dwukrotnie trwałość karotenu w suszach; podobne dane przytacza szereg

innych autorów (3; 19; 30; 74). W doświadczeniach Pietrzaka i Piątkowskiej (79) stwierdzono wyraźne zwiększenie trwałości karotenu w suszach z traw i lucerny pod wpływem dodatku Santoquinu. Dodatek do mączki z traw BHT — Topanolu w formie proszku, w ilości 0,015%, dawał wyraźny efekt stabilizujący karoten (19), niwelując w znacznym stopniu szkodliwy wpływ jednorazowego podgrzewania do 90°C, co odpowiada warunkom osiąganym podczas granulowania.

W doświadczeniach Thompsona i wsp. (93) działanie BHT jako przeciwutleniacza dodawanego do mączki z lucerny w proporcji 0,025% było znacznie silniejsze w formie proszku niż jako emulsji tłuszczowej. Niemniej zarówno autorzy ci, jak i Astrup (3) i Kohler (54) stwierdzają, że oddziaływanie stabilizujące BHT jest znacznie słabsze niż antyoksydantów typu Santoquin. W badaniach francuskich (2) przy zastosowaniu Santoquinu oraz BHT uzyskano na ogół mierne rezultaty, inne zaś badane preparaty dawały nawet efekt negatywny.

Wpływ struktury suszu na zmiany zachodzące podczas przechowywania

Susz z zielonek uzyskuje się w formie sieczonej o długości około 2,5 cm lub mączki o przesiewie przez sita \varnothing 1,5—6 mm. Odbiór sieczonej stanowi najprostsze rozwiązanie; materiał taki jest najczęściej magazynowany luzem, w pryzmach. Nieco komplikacji stwarza konieczność dalszego transportu sieczonej. Różnice w składzie suchej masy suszu przechowywanego w formie sieczonej i mączki są nieistotne (96); w porównaniu z lucerną długą w sieczonej zachowało się mniej karotenu. Podobne wyniki uzyskał Szebiotko (88) na łubinie. W doświadczeniu (17) z przechowywaniem suszu z lucerny — sieczonej i mączki, straty suchej masy były nieco większe w sieczonej, natomiast różnice w stabilności karotenu okazały się nieistotne.

Mączka w młynkach bijakowych ulega napowietrzeniu i podgrzaniu (59; 97); pod wpływem powstałych ładunków elektrycznych drobne cząsteczki suszu ulegają wzajemnemu odpychaniu, co zwiększa pylistość materiału i związane z nim straty. Przechowywanie i transport mączki, której ciężar usypowy wynosi około 200 kg/m³, wymagają znacznych ilości opakowań. Sam proces mielenia suszu pochłania około 45% energii zużywanej obecnie na jego produkcję (13). Mączka nie stanowi zatem dogodnej struktury suszu dla praktyki.

Granulowanie suszu stosowane jest w praktyce w suszarniach w USA, Holandii, Francji i innych krajach (11; 58; 82). Mączka po nawilgoceniu lub natłuszczeniu ulega sprasowaniu w cylindryczne granule o średnicy 3—25 mm. Zabieg ten zmienia w istotny sposób strukturę, ciężar objętościowy, sypkość i inne własności fizyczne suszu (7; 11; 21;

26;81; 107). Na ogół przyjęła się także opinia, że granulowanie zapobiega rozkładowi karotenu wskutek silnego zagęszczenia cząstek suszu, utrudniającego dyfuzję tlenu oraz zmniejszenia powierzchni materiału, wystawionej na działanie powietrza (23; 89). Zdaniem Bootha (23) opinia taka opiera się na fakcie, że granule o gładkiej i połyskującej powierzchni, powstałej w wyniku działania temperatury i tarcia, utrzymują zielone zabarwienie dłużej niż mączka. Stwierdzono zaś (37), że pomiędzy zawartością karotenu i chlorofilu istnieje korelacja dodatnia, dlatego też zielone intensywne zabarwienie suszu może pośrednio świadczyć także o zawartości karotenu.

Przeprowadzone prace badawcze dają jednak rezultaty rozbieżne. Halverson i Hart (42) wykazali, że w granulach z lucerny z dodatkiem tłuszczu karoten zachował się dłużej niż w mączce. Podobnie w doświadczeniach Mitchella i Silkera (71) granule z dodatkiem tłuszczu przechowywane przez 10 tygodni w temperaturze 37°C zachowały 79% karotenu, podczas gdy mączka z takim samym dodatkiem tłuszczu — tylko 69%. Z szeregu innych opracowań (18; 24; 82; 104) wynika jednak, że zabieg ten nie wykazuje wyraźnego korzystnego wpływu na stabilność karotenu w suszu z zielonek. Detre (30) przedstawia dane dotyczące przechowywania mączki i granul z lucerny przez 9 miesięcy z dodatkiem środków przeciwutleniających w różnych kombinacjach; o ile wpływ antyoksydantów stabilizujący karoten był istotny, zróżnicowanie struktury suszu dało rezultaty rozbieżne. Podobny charakter mają wyniki norweskie (3) uzyskane przy przechowywaniu granul i mączki z traw przez okres 13 miesięcy. Mitchell i Silker (71) stwierdzili natomiast, że aczkolwiek granulowanie suszu bez dodatków może wpłynąć destrukcyjnie na karoten, to po uprzednim dodaniu tłuszczu zwierzęcego lub roślinnego lub też tłuszczu z dodatkiem antyoksydantu (Santoquinu), nagrzewanie granulatu nawet do 100°C nie obniżało trwałości karotenu; fakt ten może mieć istotne znaczenie dla praktyki i wymaga sprawdzenia.

Booth (23) przy przechowywaniu w temperaturze 25°C mączki i granul z lucerny i traw opakowanych w torby papierowe stwierdził po upływie 25—30 tygodni, że straty karotenu w granulach były średnio o 4% niższe niż w mączce. Zwraca on jednak uwagę na ubytki karotenu w samym procesie granulowania, wynoszące około 8%, co praktycznie niwelowało różnice występujące na korzyść granul w czasie przechowywania. W doświadczeniach IMER (17; 18) stwierdzono podczas granulowania i brykietowania suszu z traw i lucerny ubytki karotenu 8—14%. Podobnie w doświadczeniach francuskich (2) granule zawierały mniej karotenu niż mączka z lucerny, z której je wyprodukowano.

Kreyger i Huisman (59; 60; 61) w wyniku wieloletnich badań nad przechowywaniem suszu z traw wykazali, że w jednakowych warunkach spadek zawartości karotenu zachodził szybciej w granulach niż w mączce. Autorzy ci (60) sugerują niekorzystny wpływ wysokiej temperatury osiąganej przez granule i zalecają szybkie i dokładne ich schładzanie. Zbliżony pogląd reprezentują Thompson i wsp. (93). Opracowania krajowe (17; 18) podają, że przy przechowywaniu suszu z traw i lucerny straty karotenu były niższe w mączce niż w granulach o różnej średnicy, niezależnie od sposobu opakowania (tabela 5).

Tabela 5

Straty karotenu podczas przechowywania przez 9 miesięcy suszu z traw w formie mączki i granul o różnej średnicy

Struktura suszu	Zawartość początkowa karotenu mg/kg s. m.	Straty w czasie przechowywania %			
		luzem	w workach		średnio
			zwykłych	z czarną wkładką	
Mączka	281	64,4	67,2	62,6	64,8
Granule Ø 4 mm	289	82,0	74,4	80,6	79,0
Granule Ø 11 mm	285	74,7	76,1	75,4	75,4
Granule Ø 23 mm	250	82,4	82,8	77,2	80,8

Jak wynika z wielu doświadczeń, temperatura osiągana przez materiał podczas granulowania wpływa destrukcyjnie na karoten; oprócz stopnia nagrzania granul istotny jest czas oddziaływania podwyższonej temperatury (55; 64). Według Dmitroczenki (34) działanie ciśnienia, temperatury i tarcia może powodować także denaturację białek paszy, polegającą na zmianie ich rozpuszczalności; szczególnie niekorzystny jest efekt podwyższonej temperatury przy niskiej zawartości wilgoci w materiale.

Susz z zielonek zawiera stosunkowo znaczne ilości włókna, dlatego też bardziej nagrzewa się i jest trudniejszy do zgranulowania niż mieszanki treściwe, zawierające tłuszcz i dość dużo skrobi. Tarcie, w wyniku którego granuląt przetłaczany przez matrycę nagrzewa się, może być zmniejszone dodatkiem lepiszcza: tłuszczu, melasy lub wody (11). Huisman (46) dodając 8—10 litrów wody na 100 kg mączki stwierdził nagrzanie granulatu opuszczającego matrycę do 74—77°C. Ciśnienie robocze w granulacjach wynosi na ogół 600—700 kg/cm². Nawilgocenie produktu do około 15% umożliwia zastosowanie niższych ciśnień (7). Z obniżeniem ciśnienia prasowania, a także ze wzrostem rozmiaru granul wzrasta prawdopodobieństwo lepszego zachowania karotenu w suszu.

Szczegóły związane z technologią granulowania suszu z zielonek zostały omówione w odrębnych opracowaniach (11; 20; 36).

W doświadczeniach Bootha (23) prasowano mączkę z lucerny i traw z niewielkim dodatkiem melasy pod ciśnieniem 140—845 kg/cm², uzyskując cylindryczne kostki o średnicy 7,5 cm. Po 19 tygodniach przechowywania straty karotenu w mączce wynosiły 28,5⁰/₀, w kostkach przeciętnie 20⁰/₀; stabilizujący efekt prasowania okazał się istotny. O prasowaniu mączki z lucerny pod ciśnieniem 250—300 kg/cm² w duże bloki o ciężarze objętościowym 1100—1200 kg/cm³ wspomina również Kunffy (63; 64). Zabieg ten opóźniał wyraźnie rozkład karotenu podczas przechowywania suszu. Prasowanie pod niższym ciśnieniem odbywa się bez silniejszego nagrzewania materiału, dlatego też nie dochodzi do niszczenia karotenu w procesie produkcji bloków (23; 64). Doświadczenia z prasowaniem mączki z traw przeprowadzał także Bezruczkin (7), badając wpływ różnych parametrów fizycznych na trwałość mechaniczną uzyskiwanych kostek.

Susz z zielonek może być również prasowany w postaci sieczki w brykiety — kostki o większych niż granule wymiarach, różniące się od granul także innymi własnościami (tabela 6). Brykietowanie sieczki zachodzi na ogół pod niższym ciśnieniem, tym samym materiał mniej nagrzewa się przy prasowaniu (17; 62; 64). Ponadto wyeliminowany zostaje dodatkowy element destrukcyjny — napowietrzanie suszu podczas mielenia (24; 97) poprzedzającego granulowanie, korzystny zaś stosunek powierzchni do objętości w dużych brykietach utrudnia dyfuzję tlenu z powietrza w głąb masy suszu.

Tabela 6

Porównanie niektórych własności granul i brykietów z suszu zielonek

Wyszczególnienie	Granule	Brykiety
Materiał wyjściowy	mączka	sieczka
Temperatura nagrzewania przy prasowaniu (w °C)	86—117	76—80
Wymiary produktu (Ø)	3—25 mm	2,5—10 cm
Ciężar usypowy (w kg/m ³)	755	655
Naturalny kąt zsypu	25—35°	40—50°
Zapotrzebowanie energii: (w kWh/t)		
— na rozdrabnianie	ok. 50	—
— na prasowanie	ok. 50	ok. 35
Zdolność przeładunkowa	dobra	dość dobra

Dotychczasowe doświadczenia z brykietowaniem materiału nie mielonego były przeprowadzane prawie wyłącznie przy zbiorze siana (14; 26; 35). Wyniki brykietowania suszu w formie siewki na stacjonarnej brykieciarce tłokowej podaje Klarkowski (51); stwierdził on, że trwałość brykietów wzrasta z wilgotnością materiału, przy czym najlepsze efekty uzyskiwano przy wilgotnościach 11—20%. Susze o dużej zawartości białka i małej zawartości włókna dają brykiety trwalsze; zawartość włókna wpływa niekorzystnie na spoiwość brykietów prasowanych bez dodatku lepiszcza. Łatwiejszym do brykietowania materiałem okazał się susz z motylkowych niż z traw. Według Krzemińskiego (62) optymalną wytrzymałość brykietów z suszu ciętego na siewkę uzyskiwano przy wilgotności materiału 15—20% i ciśnieniu około 200 kg/cm². Jednocześnie autor ten podaje, że przy żywieniu krów chętniej i bez trudności wyjadane były brykiety o ciężarze objętościowym 800—900 kg/m³; natomiast sprasowane silniej (około 1150 kg/m³) brykiety sprawiały trudności przy rozgryzaniu.

Przeprowadzone doświadczenia (17) wykazały, że brykietowanie może wpływać stabilizująco na zawarty w suszu karoten. Przy przechowywaniu przez 12 miesięcy granul i brykietów z tych samych partii suszu z lucerny straty karotenu w granulach wyniosły średnio 55,8%, natomiast w brykietach 41,7%. Należy zaznaczyć, że w procesie prasowania brykiety nagrzewały się do 76—80°C, temperatura zaś granul wahała się od 86 do 117°C.

Przy przechowywaniu brykietów i granul z suszu luzem w przyzmacach lub pojemnikach wierzchnia warstwa wymaga zabezpieczenia przed szkodliwym działaniem powietrza, powodującym zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym nawilgacanie i pleśnienie materiału. Dobre rezultaty uzyskiwano przykrywając wierzchnią warstwę granul w zbiorniku kocami z włókien szklanych (47); użycie do tego celu folii plastikowej powodowało kondensację pary wodnej w wierzchniej warstwie materiału oraz zepsucie granul na grubości ponad 10 cm. Przykrycie z folii wymaga uprzedniego rozścielenia na materiale mat słomianych (68), co zapobiega pleśnieniu brykietów. Z upływem czasu ulega obniżeniu spoiwość, a tym samym trwałość mechaniczna przechowywanych granul i brykietów (18), głównie wskutek wtórnego nawilgocenia materiału.

Podsumowanie i wnioski

Niezależnie od postaci końcowej susz z zielonek stanowi w naszych warunkach przede wszystkim półprodukt dla przemysłu paszowego; w znacznie węższym zakresie znajduje zastosowanie jako bezpośrednia karma dla zwierząt. Susz, zwłaszcza z lucerny, traktowany jest jako

komponent mieszanek wzbogacający w witaminy i inne biologicznie czynne substancje oraz w białko o korzystnym składzie aminokwasowym (14; 53). W ostatnich latach obserwuje się zresztą dążność do zwiększenia koncentracji białka i witamin w suszu z lucerny. Czynione są próby w skali laboratoryjnej (91), a nawet półtechnicznej (53; 83), rozdzielania liści od łodyg roślin i uzyskiwania tym sposobem dwu frakcji: białkowo-witaminowej i włóknistej, która wciąż jeszcze stanowić może cenną paszę dla zwierząt przeżuwających. Frakcjonowanie może być przeprowadzone podczas zbioru roślin z pola (83), w trakcie suszenia i przerobu (53), jak też po rozdrobnieniu suszu, przez odsiewanie (76). Przy ogromnym wzroście zapotrzebowanie na witaminowo-białkowe pasze dla bojlerów, kur niosek oraz dla trzody chlewnej, ten kierunek działania wydaje się mieć znaczne perspektywy rozwoju.

Susz z zielonek przy stosunkowo znacznych kosztach produkcji stanowi przede wszystkim paszę dla drobiu i trzody chlewnej. Żywienie bydła lub owiec większymi dawkami suszu nie w każdych okolicznościach znajdzie uzasadnienie ekonomiczne. Fakt ten określa w znacznej mierze ukształtowanie się obecnej technologii produkcji suszu: mączka lub granulata, korzystne przy żywieniu zwierząt monogastrycznych, nie stanowią najlepszej formy paszy dla przeżuwaczy, ze względu na specyfikę procesów trawienia. W USA i krajach skandynawskich stosuje się susz z zielonek w żywieniu bydła i owiec (68; 106). Jednak znacznie lepsze efekty, zwłaszcza w żywieniu krów mlecznych, uzyskuje się stosując brykiety z siewki (106) niż granule z materiału uprzednio zmielonego; brykiety zachowują strukturę zbliżoną do pasz objętościowych włóknistych fizjologicznie niezbędnych dla przeżuwaczy.

Wspomniane właściwości brykietów, jak również wzrost stabilności karotenu, możliwość wyeliminowania z technologii rozdrabniania oraz ułatwienia w transporcie i przechowywaniu nie uhtëpujące granulom, pozwalają uznać brykietowanie za metodę przyszłościową, którą należy wprowadzać do praktyki. Oczywiście konieczne są dalsze prace badawcze i konstrukcyjne doskonalące technologię brykietowania.

Z dostępnej literatury wynika, że straty suchej masy podczas przechowywania wysuszonej zielonki obejmują głównie ubytki tłuszczu i węglowodanów; wielkość tych strat zależy od wilgotności materiału i temperatury przechowywania. Przy niskich wilgotnościach suszu ubytki suchej masy (poza pyleniem) i zmiany w jej składzie pozostają praktycznie bez większego znaczenia. Pylenie można zredukować dodatkiem płynnego tłuszczu oraz sprasowaniem w granule czy brykiety.

Straty witamin, a przede wszystkim karotenu, odgrywają znacznie większą rolę. Wyniki prac badawczych i obserwacje praktyczne umożliwiają obecnie podjęcie właściwego postępowania w celu zabezpie-

czenia wartości witaminowych suszu z zielonek i wprowadzania szeregu ulepszeń w technologii produkcji i przechowywania tej paszy.

Regulacja przebiegu suszenia w suszarni bębnowej powinna umożliwiać uzyskanie wilgotności suszu około 14—16%; kierowany następnie do prasowania w granule czy brykiety materiał nie wymaga wtedy dodatkowego nawilgacania lub użycia lepiszcza (20) dla osiągnięcia odpowiedniej spoistości i trwałości po sprasowaniu. Wyższa wilgotność naturalna ulega obniżeniu podczas prasowania, zabezpieczając produkt przed nadmiernym zagrzewaniem. Rozdrabnianie tak wilgotnego materiału jest możliwe przy szeregowym ustawieniu młynków bijakowych i odpowiednim doborze sit (20). Wpływ wilgotności suszu na trwałość karotenu nie jest ostatecznie wyjaśniony, opinie na ten temat są dość rozbieżne.

Znane jest ogólnie szkodliwe działanie podwyższonej temperatury na karoten, wymagają jednak wyjaśnienia możliwości osłabienia tego efektu. Pożądane byłoby doświadczalne sprawdzenie krytycznych wielkości temperatury i czasu jej działania na susz; dane takie byłyby praktycznie wykorzystane przy konstrukcji urządzeń do granulowania i brykietowania suszu. Z literatury wynika, że negatywny efekt granulowania (tym samym podgrzewania) suszu może być zmniejszony dodatkiem płynnych tłuszczów roślinnych lub zwierzęcych; celowość takiego zabiegu należałoby sprawdzić w naszych warunkach. Istotne znaczenie ma także szybkie schładzanie granul i brykietów. Przechowywanie suszu w niskich temperaturach jest godne polecenia, napotyka jednak w praktyce na szereg istotnych trudności technicznych i ekonomicznych. Niemniej sprawa ta, podobnie jak niekorzystny wpływ światła na karoten, powinna być brana pod uwagę przy projektowaniu pomieszczeń magazynowych.

Zapobieganie destrukcyjnemu działaniu tlenu na zawarty w suszu karoten znalazło praktyczny wyraz w budowie gazoszczelnych zbiorników do przechowywania suszu w atmosferze gazów obojętnych oraz zastosowaniu na szeroką skalę antyoksydantów. Obie te metody uzupełniają się wzajemnie. Wysoka zawartość karotenu w suszu, najczęściej w formie granul, utrzymująca się przez okres kilku miesięcy przechowywania w atmosferze beztlenowej, ulega gwałtownemu obniżeniu z chwilą ponownego zetknięcia się z powietrzem. Wtedy właśnie stabilizujące działanie antyoksydantów (głównie Santoquinu) okazuje się najbardziej pożądane i skuteczne (54).

Dodatek antyoksydantów utrwała karoten w suszu niezależnie od jego struktury i sposobu przechowywania. Należałoby w związku z tym przeanalizować potrzeby i możliwości zastosowania w naszych warunkach najbardziej odpowiednich i wypróbowanych preparatów stabili-

zujących, tym bardziej, że wraz ze wzrostem zapotrzebowania na susz na rynkach światowych, wzrastają wymagania jakościowe, zwłaszcza co do zawartości karotenu. Dozowanie i mieszanie z suszem antyoksydantów w formie emulsji lub proszku wymaga rozwiązania technicznego, możliwego do zastosowania w suszarniach pasz.

Z przedstawionych materiałów wynika, że o wartości witaminowej suszu z zielonek decyduje zespół czynników. Osiągnięcie maksymalnie pożądaných efektów możliwe jest przy uwzględnieniu wszystkich czynników, chociaż także oddziaływanie niektórych z nich może wywierać wpływ istotny. Wprowadzenie poszczególnych zabiegów usprawniających technologię (np. brykietowania lub dodatku antyoksydantów) umożliwia uzyskanie produktu wyższej jakości, utrwalając zarazem osiągnięte walory jakościowe suszu jako paszy białkowo-witaminowej.

LITERATURA

1. Abram A.: *Mukomolno-Elewatornaja Promyszlenost'*, nr 6, (22—23), 1963.
2. Anonim: *Biuletyn Informacyjny Centr. Laboratorium Przemysłu Paszowego*, t. 2, nr 3, (49), 1963.
3. Astrup H.: *Acta agriculturae Scandinavica*, t. 12, nr 3 (199—209), 1962.
4. Bailey G. F. i wsp.: *Industrial and Engineering Chemistry*, t. 41, (2033), 1949.
5. Bellinger P. L., Mc Colly H. F.: *Agricultural Engineering*, t. 42, nr 4/5 (180—181; 244—250), 1961.
6. Betchell H. E. i wsp.: *Journal of the Dairy Science*, t. 28, (531—534), 1945.
7. Bezruczkin A. N.: *Traktory i Sielchozmasziny*, nr 2, (15—19), 1958.
8. Bickoff E. M. i wsp.: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, t. 3, nr 1 (67—69), 1955.
9. Bieliński K. i wsp.: *Roczniki Nauk Rolniczych*, t. 66, ser. B, nr 2, (49—67), 1953.
10. Bieliński K. i wsp.: *Roczniki Nauk Rolniczych*, t. 66, ser. B, nr 2, (69—82), 1953.
11. Biłowicki J.: *Zeszyty Problemowe Post. Nauk Rolniczych*, nr 44, (293—315), 1964.
12. Biłowicki J.: *Przegląd Hodowlany*, t. 32, nr 6, (32—36), 1964.
13. Biłowicki J.: *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, t. 12, nr 2, (40—45), 1965.
14. Biłowicki J.: *Zeszyty Problemowe Post. Nauk Rolniczych*, nr 69, (460—490), 1967.
15. Biłowicki J.: *Przemysł Rolny*, t. 5, nr 6/7 (13—21), 1960.
16. Biłowicki J.: *Biuletyn Informacyjny IMER*, t. 8, nr 12 (105—109), 1969.
17. Biłowicki J.: Doświadczenia z przechowywaniem suszu z lucerny w formie siewki, mączki, brykietów i granul. *Roczniki Nauk Rolniczych*, ser. C, 1970 (przyjęte do druku).
18. Biłowicki J.: Przechowywanie suszu z traw w postaci granul. *Roczniki Nauk Rolniczych*, ser. C, 1970 (przyjęte do druku).
19. Biłowicki J.: *Przemysł Fermentacyjny i Rolny*, t. 13, nr 12 (24—28), 1969.

20. Biłowicki J.: Susz z zielonek — granulowany czy brykietowany? Nowe Rolnictwo, 1971, t. 20, nr 8; (1477).
21. Biłowicki J., Cenkowski T. P.: Przemysł Rolny, t. 8, nr 7/8 (7—14), 1963.
22. BN-66.9163.01: Norma Branżowa. Pasze. Susz zielonek. 1967.
23. Booth V. H.: The Association of Green Crop Driers Year Book, London, (16—21), 1954.
24. Booth V. H.: Preservation of Carotene in Dried Green Crops. London, 1955.
25. Boulenaz A.: Revue Romande d'Agriculture, t. 9, nr 10, 1953.
26. Bruhn H. D. i wsp.: Agricultural Engineering, t. 40, nr 4, (204—209), 1959.
27. Carter W.: Journal of the British Grassland Society, t. 15, nr 3, 1960.
28. Couchman J. F.: Journal of the Science of Food and Agriculture, t. 10, nr 10, (513—519), 1959.
29. Couchman J. F.: Journal of the Science of Food and Agriculture, t. 10, nr 10, (519—521), 1959.
30. Detre I.: Erfahrungen bei der Trocknung von Halmfutter in Ungarn. Mosonmagyaróvár, September 1965 (maszynopis).
31. Dijkstra N. D.: Netherlands Journal of Agricultural Science, t. 5, nr 4, (271—283), 1957.
32. Dijkstra N. D., Sprenger J. J. I.: The influence of artificial drying on the digestibility of lucerne. Versl. Landbouwk. Onderz., nr 61. 11, Gravenhage, 1955.
33. Dijkstra N. D. i wsp.: The influence of artificial drying on the digestibility of red clover in comparison with lucerne. Versl. Landbouwk. Onderz., nr 63. 20, Gravenhage, 1957.
34. Dmitroczenko A. P.: Selskoje Chozjajstwo za Rubieżom. Żiwotnowodstwo., t. 11, nr 3, (2—8), 1965.
35. Ekielski S.: Biuletyn Informacyjny IMER, t. 6, nr 7, (68—80), 1967.
36. Ekielski S., Szymańska W.: Biuletyn Informacyjny IMER, t. 6, nr 7, (81—91), 1967.
37. Firek E.: Postępy Nauk Rolniczych, t. 14, nr 5, (65—72), 1967.
38. Fodor Z.: Trocknung der Futtermittel in Ungarn., Presto-Verlag (17—43), Budapest, 1967.
39. Franke E.: Deutsche Agrartechnik, t. 9, nr 5, (213—214), 1959.
40. Greenhill W. L. i wsp.: Journal of the Science of Food and Agriculture, t. 12, nr 4, 1961.
41. Guilbert H. R.: Journal of Nutrition, nr 10 (45), 1935.
42. Halverson A. W., Hart E. B.: Journal of the Dairy Science, t. 30, nr 4 (245—253), 1947.
43. Hoffman E. J., Bradshaw M. A.: Journal of Agricultural Research, t. 54, 1937.
44. Hoffman E. J. i wsp.: Journal of Agricultural Research, t. 71 nr 8 (361—373), 1945.
45. Huisman M. H.: Onderzoeknota nr 65, IBVL, Wageningen, 1964.
46. Huisman M. H.: Onderzoeknota nr 71, IBVL, Wageningen, 1965.
47. Huisman M. H.: Onderzoeknota nr 87, IBVL, Wageningen, 1966.
48. I.C.I. (Imperial Chemical Industries): Topanol antioxidants for food and animal feeding., Publ. H/P 72/E, Billingham-Durham, 1962.
49. Kekkonen A. P.: Moločnoje chozjajstwo i kormoproizwodstwo w Finlandii., Gos. Izd. Sel-choz. Lit., Moskwa, 1958.
50. Keyte R.: Selskoje Chozjajstwo za Rubieżom. Żiwotnowodstwo., t. 10, nr 6 (62), 1964.

51. Klarkowski W.: *Przemysł Rolny*, t. 9, nr 3/4 — 5, 1964.
52. Knodth C.: *Journal of Animal Science*, t. 9 (540—544), 1950.
53. Knoop J. G.: *The Farm Quarterly*, t. 22, nr 6 (53), 1967.
54. Kohler G. O.: *Journal of the Association of Green Crop Driers*, (14—21), London, 1962.
55. Kohler G. O. i wsp.: *Poultry Science*, t. 34, nr 2 (468—471), 1955.
56. Kongan J. R., Sullivan T. W.: *Poultry Science*, t. 43, nr 5 (1205—1209), 1964.
57. Kreyger J.: *Przemysł Fermentacyjny i Rolny*, t. 10, nr 8/9 (295—298), 1966.
58. Kreyger J.: *Behoud van caroteen in kunstmatig gedroogde groenvoeders*. IBVL, Wageningen, 1966 (maszynopis).
59. Kreyger J., Huisman M. H.: *Measures against destruction of carotene in stored dehydrated greenfodders*. *Versl. Landbouwk. Onderz.*, nr 65 10, Wageningen, 1959.
60. Kreyger J., Huisman M. H.: *Jaarboek IBVL* (15—35), Wageningen, 1963.
61. Kreyger J., Huisman M. H.: *Onderzoeknota nr 70*, IBVL, Wageningen, Mai 1965.
62. Krzemiński J.: *Biuletyn Informacyjny IMER*, t. 7, nr 9 (148—154), 1968.
63. Kunffy Z.: *Gazdalkodas*, t. 8, nr 1 (23—27), 1964.
64. Kunffy Z.: *Informacja ustna*. Budapest, 1965.
65. Kurelec V.: *Die Vorzuege des im Schnelltrockner getrockneten Luzernemehls. Trocknung der Futtermittel in Ungarn*. Presto-Verlag, (7—16), Budapest, 1967.
66. Lubowiecka M., Górny S.: *Przemysł Rolny*, t. 9, nr 6/7 (10—13), 1964.
67. Łaguta A. F.: *Trudy Wsiesojuzn. Nauczno-Issledow. Instituta Žiwotnowodstva*, t. 22, Moskwa, 1958.
68. Mangerud K.: *Torking og brikettering av gras*. *Orientering nr 26*, Landbruksteknisk Institutt, Vollebakk, 1966.
69. Milič B. i wsp.: *Stočarstvo*, t. 19, nr 11/12 (473—482), 1965.
70. Mitchell H. L. i wsp.: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, t. 2, nr 18 (939—941), 1954.
71. Mitchell H. L., Silker R. E.: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, t. 3, nr 1 (69—71), 1955.
72. Murdoch J. C. i wsp.: *Journal of the British Grassland Society*, t. 14, nr 4, (247—252), 1959.
73. N.I.A.E.: *Cubing of dried crops*. *Technical Memorandum, TM 14/2, FME/Inf.*, Silsoe, 1949.
74. Orth A. i wsp.: *Futterkonservierung*, nr 2/3 (151—166), 1957.
75. Orth A., Kauffmann W.: *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, t. 19, nr 3 (144—156), 1964.
76. Ostrowski B.: *Przemysł Fermentacyjny i Rolny*, t. 11, nr 8, (298—303), 1967.
77. Pabis S.: *Suszenie płodów rolnych*. PWRiL, Warszawa, 1965.
78. Paramzin M.: *Mukomolno-Elewatornaja Promyslennost'*, nr 1 (9—10), 1964.
79. Pietrzak R., Piątkowska W.: *Przemysł Fermentacyjny i Rolny*, t. 11, nr 9 (342—346), 1967.
80. Podusowska I.: *Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B*, t. 83, nr 3 (465—478), 1963.
81. Połunina N. J.: *Proizvodstvo granulirovanykh kombikormow*. Zagotizdat. Moskwa, 1962.

82. Rickey L. F.: Cooperative Alfalfa Dehydrators. Costs and Operations. US Dept. of Agriculture, Circ. nr 12, 1956.
83. Roszkowski A.: Biuletyn Informacyjny IMER, t. 6, nr 7 (35—48), 1967.
84. Sappinowa T. P.: Selskoje Chozjajstwo za Rubieżom. Żiwotnowodstwo. nr 3 (9—15), 1965.
85. Scharrer K., Räkker K. O.: Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde, t. 37, nr 11, 1956.
86. Shepperson G.: Journal of Agricultural Engineering Research, t. 1, nr 2, 1956.
87. Skrzyński T.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B t. 66, nr 4, (69), 1953.
88. Szebiotko K.: Roczniki WSR w Poznaniu, t. 2 (87—127), 1958.
89. Szebiotko K.: Zeszyty Problemowe Post. Nauk Rolniczych, nr 59 (163—174), 1966.
90. Tangl H.: Witaminy, hormony i antybiotyki w hodowli zwierząt. PWRiL, Warszawa, 1961.
91. Tangl H.: Die Bestimmung des Carotins. Sitzungsberichte der D.A.L., Heft 11, Berlin, 1963.
92. Taylor M. W., Russel W. C.: Journal of Nutrition, t. 16 (1—13), 1938.
93. Thompson C. R. i wsp.: Carotene stability in alfalfa as affected by laboratory and industrial-scale processing. US Dept of Agriculture, Techn. Bull. nr 1232, Washington, 1960.
94. Vérosta B.: Zeszyty Problemowe Post. Nauk Rolniczych, nr 26 (307—312), 1961.
95. Washburn R. G., i wsp.: Journal of the Dairy Science, t. 30, nr 8 (568—569), 1947.
96. Watson S. J., Nash M. J.: The conservation of grass and forage crops. Oliver/Boyd Ltd., London, 1960.
97. Wąsowicz S.: Przemysł Fermentacyjny i Rolny, t. 8, nr 6/7, 1965.
98. Whyte R. O., Yeo M. L.: Green crop drying. Faber/Faber, London, 1952.
99. Wierzchowski Z.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B, t. 67, nr 4 (495), 1954.
100. Wierzchowski Z.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B, t. 69, nr 2 (163—194), 1955.
101. Wierzchowski Z.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B, t. 69, nr 2 (303), 1955.
102. Wierzchowski Z., Basaj J.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B, t. 73, nr 3 (459), 1958.
103. Wierzchowski Z., Kraczkowska J.: Roczniki Nauk Rolniczych, ser. B, t. 80, nr 4 (485—506), 1962.
104. W.I.E.S.Ch.: Informacja o rezultatach prowadzonych naukowych issledowaniji po teme: Mechanizacija suszki, pomola i chranienija zielienych kormow, za god 1965—1966. Moskwa, 1966 (maszynopis).
105. Wilder O. H. M., Bethke R. M.: Poultry Science t. 20 (304—312), 1941.
106. Wrakin W. F., Kowalczyk I. S.: Selskoje Chozjajstwo za Rubieżom. Żiwotnowodstwo., nr 3, 1966.
107. Young L. R. i wsp.: Transactions of the A.S.A.E., t. 6, nr 2 (145—150), 1963.
108. Glathe H.: Mitteilungen der D.L.G., t. 71, nr 21 (508), 1956.
109. Pruski W.: Nowe Rolnictwo, t. 10, nr 18 (30—32), 1961.