

Syntéza škrobu z oxidu uhličitého

STARCH SYNTHESIS FROM CARBON DIOXIDE

Nový postup syntézy škrobu z oxidu uhličitého publikovali čínští autoři v časopisu Science (1). Jedná se o práci autorského kolektivu z Ústavu strategie a integrace výzkumu Tianjinského Institutu průmyslové biotechnologie Čínské akademie věd (*Department of Strategy and Integrative Research at the Tianjin Institute of Industrial Biotechnology (TIB), the Chinese Academy of Science (CAI)*). Vyvinuli hybridní systém, kde se CO₂ hydrogenuje na anorganických katalyzátorech (ZnO-ZrO₂) na methanol, který se v dalších stupních enzymových reakcí přemění nejprve na tří-uhlíkaté a pak dále na šesti-uhlíkaté cukerné jednotky, které po dalších úpravách následně polymerují na škrob. Navržený chemicko-enzymový systém přípravy umělého škrobu se skládá z 11 hlavních reakcí. Jedná se o strategickou „stavebnici“, kde se integrují chemické a biologické katalytické postupy pomocí rekombinantních enzymů, získaných z mnoha různých zdrojů.

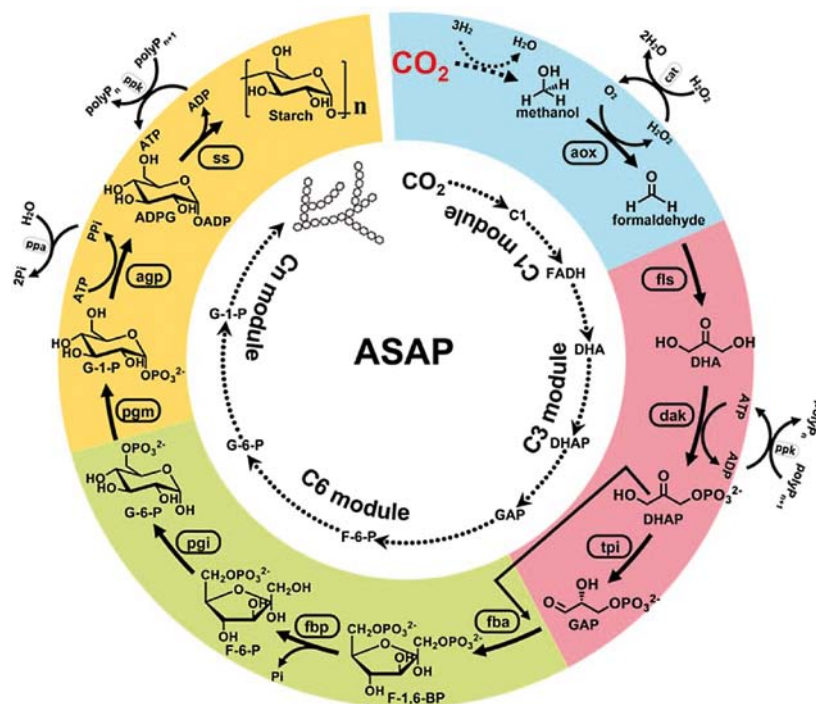
Na obr. 1, který je převzat z časopisu Science (1), je znázorněno schéma přípravy syntetického anabolika škrobu ASAP (Artificial Starch Anabolic Pathway). Vnější barevný kruh na obr. 1 znázorňuje postupně 11 hlavních reakcí: **1** – hydrogenace CO₂ na methanol CH₃OH; **2** – oxidace methanolu enzymem alkohol-oxidázou (aox) na formaldehyd (FADH); **3** – enzym formoláza (fls) katalyzuje spojení 3 molekul formaldehydu do jedné molekuly dihydroxyacetonu (DHA), která obsahuje 3 uhlíky; **4** – účinkem enzymu dihydroxyaceton-kinázy (dak) a fosforylací se transformuje DHA na dihydroxyaceton-fosfát (DHAP); **5** – dalším krokem je působení enzymu trifosfát-isomerázy (tpi) a získání D-glyceraldehyd-3-fosfátu (GAP); **6** – následuje krok flux balance analysis (fba), což je analýza tokové rovnováhy, která vede k D-fruktoso-1-6-bisfosfátu (F-1,6-BP); **7** – účinkem enzymu fruktoso-bisfosfatázy (fbp) se dostáváme k D-fruktoso-6-fosfátu (F-6-P); **8** – enzym fosfoglukoso-isomeráza (pgi) mění F-6-P na glukoso-6-fosfát (G-6-P); **9** – enzym fosfoglukoso-mutáza (pgm) mění G-6-P na glukoso-1-fosfát (G-1-P); **10** – enzym ADP-glukoso-pyrofosforyláza (agp) mění G-1-P na ADP-glukosu (ADPG); **11** – posledním krokem je získání škrobu, resp. jeho součástí amylosy a amylopektinu účinkem enzymů škrob-syntáza (ss) a enzymu, který větví škrob (starch branching enzyme – sbe).

Ve vnitřním kruhu schématu jsou uvedeny moduly jednotlivých meziproduktů: **modul**

C1 – jedno-uhlíkaté sloučeniny, od CO₂ přes methanol k formaldehydu (FADH); **modul C3** – tří-uhlíkaté sloučeniny, od dihydroxyacetonu (DHA) přes dihydroxyaceton-fosfát (DHAP) k D-glyceraldehyd-3-fosfátu (GAP); **modul C6** – šesti-uhlíkaté sloučeniny od D-fruktoso-6-fosfátu (F-6-P) ke glukoso-6-fosfátu (G-6-P); **modul Cn** – polymerní uhlíkaté sloučeniny, od glukoso-1-fosfátu (G-1-P) přes ADP-glukosu (ADPG) ke škrobu – amylose a amylopektinu.

Syntéza škrobu z CO₂ může probíhat s účinností 8,5× větší než biosyntéza škrobu probíhající v kukuřici. Roční produkce škrobu v bioreaktoru o velikosti 1 m³ by teoreticky odpovídala produkci škrobu z 1/3 ha kukuřice bez odpovídajících energetických vstupů. Pokud by se celkové provozní náklady redukovaly

Obr. 1. Schéma přípravy syntetického anabolika škrobu ASAP (Artificial Starch Anabolic Pathway)



Vysvětlivky, zkratky (některé jsou pro lepší orientaci uvedeny i v textu): ADP – adenosin-5'-difosfát; ADPG – ADP-glukosa; agp – ADP-glukosa-pyrofosforyláza; AMP – adenosin-5'-monofosfát; aox – alkohol-oxidáza; ATP – adenosin-5'-trifosfát; dak – dihydroxyaceton-kináza; DHA – dihydroxyaceton; DHAP – dihydroxyaceton-fosfát; F-1,6-BP – D-fruktoso-1-6-bisfosfát; F-6-P – D-fruktoso-6-fosfát; FADH – formaldehyd; fba – analýza tokové rovnováhy (flux balance analysis); fbp – fruktoso-bisfosfatáza; fls – formoláza; fsa – fruktoso-6-fosfát-aldoláza; G-6-P – glukoso-6-fosfát; GAP – D-glyceraldehyd-3-fosfát; pgi – fosfoglukoso-isomeráza; pgm – fosfoglukoso-mutáza; polyP – polyfosfát; ppa – pyrofosfatáza; ppk – polyfosfát-kináza; sbe – enzym větvení škrob (starch branching enzyme); ss – škrob syntáza; tpi – trifosfát-isomeráza

Pramen: převzato z časopisu Science (1)

na úroveň ekonomicky srovnatelnou s budoucí zemědělskou prvovýrobou, lze očekávat úsporu více než 90 % obdělávané půdy a zdrojů čerstvé vody.

Z odborných cukrovarnických časopisů byl uveřejněn o tomto tématu redakční článek v časopise *Sugar Industry* (2). Reakce a ohlas na přípravu syntetického škrobu bezbuněčnou cestou byla okamžitá. Stačí si zadat do vyhledavače Google nebo Seznam hesla „*syntetický škrob*“, resp. „*artificial starch*“, a hned se objeví odkazy na řadu zpráv a komentářů, viz práce (3–10), uveřejněné bezprostředně po 24. 9. 2021, kdy vyšla práce čínských autorů v časopise *Science*.

Příprava syntetického škrobu tak otevírá nový technický směr k syntézám komplexních molekul z CO₂, což by mohlo posunout výrobu škrobu, dosud získávaného z tradičních zemědělských surovin, směrem k moderní biotechnologické průmyslové výrobě. Ve srovnání s jinými syntetickými postupy, které fixují uhlík, je tato syntéza velice rychlá a efektivní. Naznačuje také možnost většího využití CO₂ (skleníkového plynu) a jeho lepšího vázání, což by mohlo snížit dopady klimatické krize.

Literatura

1. CAI, T. ET AL.: Cell-free chemoenzymatic starch synthesis from carbon dioxide. *Science*, 373, 2021, s. 1523–1527.
2. Researchers at TIB make synthetic starch out of CO₂. *Sugar Ind. / Zuckerind.*, 146, 2021 (11), s. 621.
3. QI, W.: Chinese scientists complete starch synthesis from CO₂, revolutionary for agricultural production and promoting carbon neutrality. *Global Times*, [online] <https://www.globaltimes.cn/page/202109/1235013.shtml>, cit. 24. 9. 2021.
4. Z oxidu uhličitého se stane potrava: Čínští vědci vymysleli, jak ho přeměnit na škrob. *Česká televize, ČT24*, 2021, [online] <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/3375486-z-oxidu-uhliciteho-se-stane-potrava-cinsti-vedci-vymysleli-jak-ho-premenit-na-skrob>, cit. 24. 9. 2021.
5. LAVARS, N.: World-first artificial synthesis of starch from CO₂ outperforms nature. *New Atlas*, 2021, [online] <https://newatlas.com/science/artificial-synthesis-starch-from-co2/>, cit. 27. 9. 2021.
6. OZDEMIR, D.: It's Official. Scientists synthesized starch from CO₂ in a world first. *Interesting Engineering*, 2021, [online] <https://interestingengineering.com/its-official-scientists-synthesized-starch-from-co2-in-a-world-first>, cit. 28. 9. 2021.
7. MALÍŠKA, R.: Prvá umelá syntéza škrobu z CO₂ výrazně překonává přírodní škrob. *Techpedia*, 2021, [online] <https://techpedia.ta3.com/veda-a-vyvoj/novinky/veda-a-vyskum/9588/prva-umela-synteza-skrobu-z-co2-vyrazne-prekonava-prirodny-skrob>, cit. 29. 9. 2021.
8. BAUER, L.: Čínští vědci vymysleli průlomový způsob, jak se zbavovat oxidu uhličitého: Dokáží z něj vyrobit škrob. *Magazín Plus+*, 2021, [online] <https://technika.magazinplus.cz/2213-cinsti-vedci-vymysleli-prulomovy-zpusob-jak-se-zbavovat-oxidu-uhliciteho-dokazi-z-nej-vyrobit-skrob.html>, cit. 29. 9. 2021.
9. BRYCE, E.: Here's one way to save farmland: synthesize starch from CO₂. *Anthropocene*, 2021, [online] <https://www.anthropocenemagazine.org/2021/10/heres-one-way-to-save-farmland-synthesize-starch-from-co2/>, cit. 1. 10. 2021.
10. HOUSER, K.: Scientists convert CO₂ into synthetic starch. *Freethink*, [online] <https://www.freethink.com/science/synthetic-starch>, cit. 4. 10. 2021.

Pavel Kadlec
Ústav sacharidů a cereálií, VŠCHT Praha