

FYZIOLOGIE
ROSTLIN

LUBOMÍR NÁTR

Rychlejší fotosyntéza nemusí zajistit vyšší výnosy

Od konstrukce transgenní rostliny k výnosnější odrůdě

Většina kulturních rostlin, jejichž produkty živí lidstvo, jsou byliny obsahující vodu (85 % a více), organické látky (asi 10 %, především sacharidy, bílkoviny a tuky) a minerální látky (dusík, fosfor, draslík, vápník ad.). Voda v biomase je pro rostliny životně důležitá, pro zemědělce bývá však většinou nezajímavá. Jejich cílem je maximalizovat produkci organických látek, které jsou základem hospodářského výnosu. Organické látky se tvoří v rostlinách při fotosyntéze, a to zabudováním vzdušného oxidu uhličitého s využitím energie slunečního záření do organických molekul – sacharidů. Z nich se pak v metabolických procesech vytvářejí aminokyseliny, bílkoviny, tuky i všechny ostatní organické složky rostlin. Zrychlení fotosyntézy se proto obecně považuje za jeden z nejnadějnějších kroků k zvýšení výnosů, resp. k zvýšení produkce potravin.

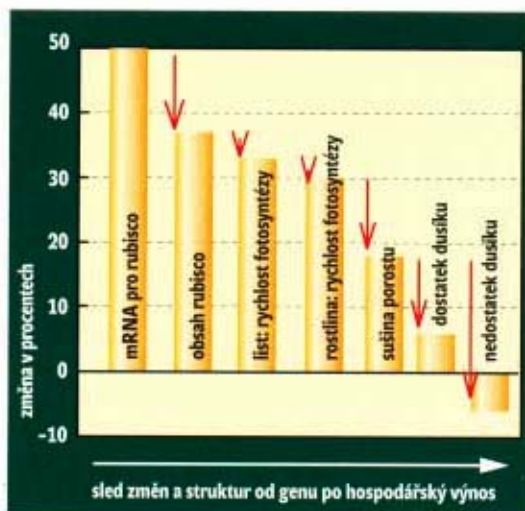
Základní poznatky o biologických principech tvorby výnosů plodin byly získány v druhé polovině minulého století. Padesátá a šedesátá léta byla ještě poznamenána dozvuky 2. světové války a převládajícím přesvědčením o lepší budoucnosti lidstva. Teoretické studie fotosyntézy byly velmi úspěšné a vedly k objevu mechanismů fotosyntetické fixace CO_2 , k rozpoznání rostlin C3 i C4 a k vytvoření chemiosmotické teorie tvorby adenosintrifosfátu (ATP). Úspěšně se rozvíjel výzkum fotosyntézy na úrovni listu, celé rostliny a porostu, který byl podporován finančními příspěvky z veřejných zdrojů i obecným přesvědčením, že zvýšení fotosyntézy zajistí dostatek potravin pro každého obyvatele této planety.¹ Popsáno bylo, jak lze optimalizovat strukturu porostu z hlediska pohlcování a využívání slunečního záření, kvantifikoval se optimální průběh hustoty porostu vyjádřené hodnotami pokryvnosti listové apod.

Už v sedmdesátých letech se ale začaly objevovat práce, které prokazovaly, že samotné zvýšení rychlosti fotosyntézy vztažené na jednotku velikosti listové plochy nemusí hospodářský výnos zvýšit. Postupně se prosadila koncepce *sinke*,² podle níž může být rychlost fotosyntézy rostliny regulována jejími „potřebami“, které se projevují například schopností zásobních orgánů hromadit asimiláty.

Snahy zvýšit rychlost fotosyntézy se vesměs zaměřují na pokusy zavést účinnější mechanismus fixace CO_2 z rostlin C4 (například kukuřice nebo cukrové třtiny) do struktur s méně efektivní fotosyntetickou fixací CO_2 u rostlin C3 (pšenice, rýže, cukrové řepy apod.). Zatím se podařilo exprimovat v rostlinách C3 řadu enzymů podílejících se na fixaci CO_2 u fotosynteticky účinných rostlin C4. Jen v jediném případě byl však zaznamenán také příznivý vliv na výnos v polních podmínkách.

Vzrostou výnosy transgenních plodin, když se zrychlí fotosyntetická fixace CO_2 ?

Touto otázkou se u plodin se zvýšenou expresí některých genů zabývali T. R. Sinclair, L. C. Purcell a C. H. Sneller,³ kteří upozorňují, že existuje jen velmi málo příkladů, kdy fyziologické poznatky na úrovni listu nebo celé



rostliny byly využity ve šlechtění a podařilo se vytvořit skutečně novou odrůdu. Uvádějí pouze tři příklady, kdy dlouhodobá spolupráce fyziologa, agronoma a šlechtitele vedla k praktickému úspěchu. Domnívám se, že to neodpovídá skutečnosti, podle mého názoru bylo právě uvědomování si mechanismů tvorby výnosů úspěšně využíváno (ať vědomě, či nevědomě) i ve šlechtění.

V této souvislosti rozebírá T. R. Sinclair s kolegy příčiny, proč samotné zvýšení rychlosti fotosyntézy, které dnes metody genového inženýrství patrně umožňují, nemusí vést k zvýšení hospodářského výnosu. Úvahu opírají o údaje z literatury (obr. 1). Lze prý vyjít z předpokladu, že se v listech geneticky transformované sóji podaří zvýšit obsah mRNA pro malou i velkou podjednotku rubisco⁴ o 50 %. S přihlédnutím k dalším literárním pramenům se dá odhadnout, že se toto zvýšení projeví zvýšením obsahu samotného enzymu rubisco o 37 %, což se pak promítne ve zvýšení rychlosti fotosyntézy vztažené na jednotku plochy listu o 33 %. U jednotlivé celé rostliny lze předpokládat, že na 60 % jejích listů dopadá tolik slunečního záření, kolik je třeba pro saturaci fotosyntézy. Zbývajících 40 % listů bude tedy trpět nedostatkem energie záření, to znamená, že možnost daná zvýšeným obsahem enzymu rubisco nebude využita. Výsledkem je zvýšení fotosyntézy jedné rostliny zhruba o 30 %. V porostu se ale rostliny navzájem zastíňují, čímž je rychlost fotosyntézy porostu omezena, a zvýšení proto činí pouhých 18 %. Hospodářským produktem je zrno (botanicky správně: obilka), v němž se musí vedle sacharidů (škrobu) hromadit také dusík (bílkoviny). Vliv předchozích změn na samotný výnos zrna tedy bude záviset na dostupnosti dusíku. V době vegetativního růstu (do kvetení) představuje samotný enzym rubisco také největší zásobu dusíku. Při dozrávání se rubisco postupně rozkládá a dusík ve formě aminokyselin je transportován do vyvíjejících se zrn. Pokud je dusík k dispozici v dostupné formě z půdy, mohou rostliny část toho, co potřebují zrna, uhradit nově přijímaným dusíkem z půdy, a rubisco pak zůstane déle k dispozici pro fotosyntézu listů. Jestliže je tedy k dispozici dostatek dusíku v přijatelné formě, může se konečný výnos zvýšit až o 6 %. Další zvýšení

1. Sled postupné redukce počátečního pozitivního účinku zvýšení obsahu mRNA obou podjednotek enzymu rubisco o 50 % na obsah tohoto enzymu, rychlost fotosyntézy listu, rychlost produkce biomasy jedné rostliny, rychlost produkce biomasy porostem a výnosy ('N s dostatkem přístupného dusíku v půdě nebo 'N s jeho nedostatkem). Podle T. R. Sinclair a C. H. Snellera (upraveno).

1) Silně s tím kontrastuje oprávněné tvrzení některých biologů, podle nichž lidstvo musí v 21. století vyřešit dva největší problémy – nedostatek potravin pro stamilony lidí a změny globálního klimatu.

2) Termínem *sinke* se označují ta místa (pletiva, orgány) v rostlině, kde se asimiláty spotřebovávají (rychle rostoucí části rostlin) nebo hromadí (zásobní orgány). Ve fyzice se pro obdobný jev používá český termín *propad*, podrobněji o výzkumu viz Trends in Plant Science 9, 70–75, 2004.

3) První z uvedených badatelů je z Floridské univerzity, druzí dva z Arkansaské univerzity; podrobněji o výzkumu viz Trends in Plant Science 9, 70–75, 2004.
4) Základní enzym pro fixaci CO_2 je ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza, zkráceně rubisco, skládající se z několika malých a několika velkých podjednotek. O tomto enzymu viz též Vesmír 75, 27, 1996/1; 77, 463, 1998/8 a 83, 130, 2004/3.

Prof. RNDr. Lubomír Nátr (*1934) vystudoval biologii na Univerzitě J. E. Purkyně v Brně. Na katedře fyziologie rostlin Přírodovědecké fakulty UK v Praze se zabývá fotosyntézou a produktivitou rostlin.



je vázáno na větší příjem dusíku v době tvorby zrn (po kvetení). Při nedostatku dusíku může výnos až o těchto 6 % klesnout. V takovém případě je totiž ve větší biomase vázáno i více dusíku v dalších sloučeninách, které jej v době zrání nemusí včas pro akumulaci v zrnech uvolnit.

Od fyziologie k výnosu

Při aplikacích fyziologických poznatků postihujících procesy na úrovni listu jsou mezi vlastnosti listu a konečný hospodářský výnos vloženy další hierarchické roviny – celá rostlina a porost. Kromě toho zvýšená produkce asimilátů v listech nemusí být u vysoce produktivních odrůd využita na zvětšení hmotnosti obílek či bulev nebo hlíz jednoduše proto, že zároveň nevzrostla akumulací kapacita (sink) těchto zásobních orgánů. Bylo také prokázáno, že limitujícím faktorem se může stát nedostačující kapacita vodivých cest. Asimiláty se totiž téměř u všech plodin musejí transportovat na poměrně dlouhé vzdálenosti z místa jejich tvorby do míst představujících hospodářský výnos.

Uplatnění metod molekulárního inženýrství indukuje změny na nejnižších úrovních hierarchické struktury rostliny. Pro konečný úspěch v podobě prakticky uplatnitelné výnosnější odrůdy proto Sinclair a jeho kolegové považují za podstatné dva faktory:

- týmovou spolupráci molekulárního biologa, fyziologa rostlin, agronoma a šlechtitele,
- finanční i organizační zajištění dlouhodobých projektů (alespoň na 10 let), protože do celého postupu se nezbytně musejí zařadit víceleté pokusy v polních podmínkách.

Titulek tohoto článku nepopírá význam rychlosti fotosyntézy měřené na úrovni listu pro tvorbu hospodářského výnosu kulturních plodin, ale spíše zdůrazňuje, že cesta od konstrukce transgenní rostliny k výnosnější odrůdě je dlouhá a vyžaduje spoluúčast specialistů několika biologických i zemědělských disciplín.

✍