

ブラジル、サンパウロ州グアタパラ日系移住地での研究実例 (21)

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者	富田, 健太郎
巻/号	84巻7号
掲載ページ	p. 733-738
発行年月	2009年7月

ブラジル、サンパウロ州グアタパラ日系移住地での研究実例〔21〕

— 塩加の施用が過剰施肥土壌での雨季作トウモロコシの生産性に及ぼす影響 (3) —

富田 健太郎*

〔キーワード〕：微量元素，塩加，グアタパラ，農牧会社，多量要素，トウモロコシ，雨季作

はじめに

本稿ではトウモロコシの芯に関する事項を述べていく。これは、過剰施肥土壌でのトウモロコシの部位別の収量，養分吸収特性の報告であるが，この他，通常，子実は農協等に引き取られるので，過剰蓄積土壌からの養分収奪効果はそれなりに認められるであろう。もちろん，時間のかかる作業であることは明白であるが，これ以上，安易な施肥は『ムダ』であることを訴える材料の一つとなろう。さて，子実と違って本稿で報告する芯，ならびに次報で取り上げる茎葉は，収穫残渣として農地に捨てられるものである（有機物として還元）。ところが，グアタパラの過剰施肥土壌環境下においては，たとえ少量の肥料養分といえども，農地に還元することは，再び過剰施肥状態を誘発するものであり，筆者としては奨励したくない事項である。

せっかく無施肥状態でトウモロコシが栽培できるのだから（窒素については，作物体の生育状況，例えば，葉色等を考慮して施肥の必要性を考慮する必要があろう），栽培によって収奪された養分は，他の系へ移動し，有効利用させることが望ましいはずである。そこで，筆者は家畜の飼料の代替物として活用することであると考えているわけである。しかし，芯は軽い材料であるが，硬いことが難点である。だから，もし飼料としても利用不可であれば，例えば，焼却して草木灰として市販することも可能ではないか？と考えているのである。

1. トウモロコシの子実収量

図1に各処理区別のトウモロコシの子実収量結果を示しておく。この結果は，前稿（84巻6号）の表

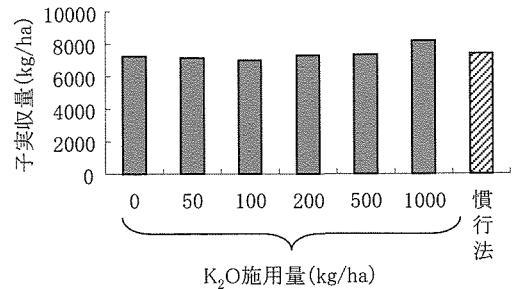


図1 各処理区別のトウモロコシ子実収量結果
ns=not significant
子実収量は小区画（10 m×10 m）であったので，実際の圃場におけるデータに近づけるため，試験区画の収量値に0.9（90%）を乗じた。

2において報告したものと同じである。本稿において，各処理区における芯収量の結果を報告していくわけであるが，その参考として子実収量結果をくり返し記載したということである。いずれにせよ，分散分析を実施した結果，処理区間に有意差は認められなかった。つまり，過剰施肥土壌環境下では，従来の慣行的な肥培管理と無施肥間には収量差が認められないということである。よって，慣行的な肥培管理の実施は，過剰施肥環境をますます助長させるということであり，肥料経済という視点からも『ムダ』であることが強いえるのである。

2. トウモロコシの芯収量

表1にトウモロコシ芯収量および分散分析の結果を示す。子実と比較した場合，芯の収量は非常に低いものであった。同表から，40%近くも水分を含有していたことから，収穫して，子実をはずり取った後，芯には強い湿気を感じた。

いずれにせよ，分散分析の結果から，塩加処理区ならびに慣行法別による有意差は認められなかった。

表3 トウモロコシ芯中の微量元素の
吸収量および分散分析の結果

K ₂ O施用量 (kg/ha)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg/kg)				
0	4.00	2.33	12.0	3.3	4.0
50	5.33	2.67	17.3	4.3	4.7
100	6.00	2.00	13.7	4.3	5.0
200	5.33	2.33	10.7	3.3	4.0
500	6.67	2.67	17.3	3.7	5.8
1000	6.67	2.33	11.3	4.3	5.2
慣行法	7.33	2.33	15.7	4.3	6.67
分散分析の結果	ns	ns	ns	ns	ns

表4 ヘクタール当たりのトウモロコシ芯中
の多量要素の収奪量 (kg)

K ₂ O施用量 (kg/ha)	多量要素の収奪量(kg/ha)				
	N	P	K	Ca	Mg
0	2.56	0.09	3.78	0.15	0.18
50	3.02	0.12	3.60	0.14	0.20
100	2.31	0.11	3.19	0.14	0.20
200	3.08	0.13	3.83	0.16	0.20
500	2.49	0.11	3.43	0.14	0.19
1000	2.40	0.14	3.36	0.11	0.18
慣行法	3.13	0.20	3.64	0.14	0.24

表5 ヘクタール当たりのトウモロコシ芯中の微
量要素の収奪量 (kg)

K ₂ O施用量 (kg/ha)	微量元素の収奪量(kg/ha)				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	0.00302	0.00176	0.00907	0.00252	0.00302
50	0.00384	0.00192	0.01250	0.00312	0.00336
100	0.00376	0.00125	0.00856	0.00272	0.00313
200	0.00395	0.00173	0.00790	0.00247	0.00296
500	0.00442	0.00177	0.01150	0.00243	0.00387
1000	0.00434	0.00152	0.00737	0.00282	0.00336
慣行法	0.00500	0.00159	0.01070	0.00295	0.00454

可能な限り、圃場(系)とは別の場所に処分されるか、家畜の餌とすることが妥当であろう。

(2) トウモロコシの芯中の微量元素の収奪量

同じく、表5に微量元素の収奪量を示す。同表より、収奪される量はごくわずかであり、期待できる事項ではなかった。

5. トウモロコシの芯の乾物収量、 養分吸収量間の 単相関による解析結果

表6に、芯の乾物収量および養分吸収量間の単相

関の結果を示す。PとK、PとMg、PとZnに有意差(5%)が認められた。これらの結果は、ノイバウエルポット幼植物試験においても同等な結果が得られ、子実と同じく、芯においてもポットによる成果が圃場においても実証されたことになる。その実証された関係を図2および図3に示す。これらの結果は、芯のみならず、子実においても実証されたことを付記しておく(前稿(84巻6号)の図2および図3を参照)。

とにかく、子実と同様、塩加処理区による試験結果からは、統計的な有意差は認められなかったが、土壌に残存している交換性K量が多少なりとも高いということは、かつて本誌で報告してきた、ノイバウエルポットもどき幼植物試験においても、オオムギの乾物収量を高めた。そして、このことは、作物体内のK濃度を高め、それに応じて、P、MgおよびZnの吸収量を高めたものと解釈してよいであろう。すなわち、現在、抱えているグアタパラでの過剰施肥土壌に対する作物による養分収奪においても、カリ肥沃度を一定に維持することは重要な事項であるとして考えているのである。

6. PとZnの関係 — とくに過剰 施肥土壌での考察 —

以下の内容は前稿と重複するが、子実のみならず、芯においても同様の試験結果が得られたので、略記した形で報じていく。

前報(84巻6号)と重複するが、トウモロコシの子実と同様に、芯においても同様の傾向が認められた。PとZnの吸収量間には1%による正の相関関係(回帰式： $y=0.0328x+1.9952$ ，相関係数： $R=0.6393^{**}$)が認められた(83巻7号の図11参照)。このデータを先の両博士に見せたら、両博士とも、筆者の実験結果に疑いの目を隠せなかったことを覚えている。2003年当時、筆者の実験結果に誤りがあったものと考えたのであろう。確かに、リンの過剰施肥は亜鉛欠乏を引き起こすことは疑いの事実であり、このポット試験を実施した筆者も、自身の実験結果に疑いの目を持っていた。

実際、トウモロコシ芯には $R=0.8122$ (5%)が認められた(表6)。ちなみに、前報で報告した子実での相関係数は $R=0.8100$ (5%)であった(前報(84巻6号)の表7参照)。

表6 トウモロコシ芯の乾物収量, 養分吸収量間の単相関の結果

単相関	乾物収量	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	K/Ca	K/Mg
乾物収量	1.0000													
N	0.0642	1.0000												
P	-0.4021	0.7261	1.0000											
K	-0.3458	0.6122	0.8691*	1.0000										
Ca	0.1031	0.1100	-0.3346	-0.0700	1.0000									
Mg	-0.6167	0.6604	0.7839*	0.6842	0.1667	1.0000								
B	-0.7362	0.4974	0.8420*	0.8234*	-0.1956	0.8111*	1.0000							
Cu	0.3243	0.2036	-0.0776	-0.0988	-0.1667	-0.1816	0.0206	1.0000						
Fe	-0.2179	0.3626	0.1864	0.0425	0.1481	0.5012	0.3540	0.6019	1.0000					
Mn	-0.6707	0.3498	0.6042	0.2095	-0.3889	0.6646	0.6016	-0.1414	0.3783	1.0000				
Zn	-0.6028	0.4876	0.8122*	0.7588*	-0.1648	0.8447*	0.8973**	0.1131	0.5735	0.5558	1.0000			
Ca/Mg	0.7050	-0.5458	-0.8819**	-0.6508	0.3444	-0.8575*	-0.8964**	0.0606	-0.4191	-0.8646*	-0.8679*	1.0000		
K/Ca	-0.2335	0.0578	0.5651	0.3664	-0.9513	0.0433	0.4389	0.0901	-0.1651	0.4302	0.3639	-0.5153	1.0000	
K/Mg	0.6667	-0.6177	-0.6866	-0.5495	-0.2036	-0.9777**	-0.7754*	0.1355	-0.5761	-0.7278	-0.7832*	0.8420*	0.0277	1.0000

*, **はそれぞれ5%, 1%レベルで有意差あり。

上記の事項に対する疑問であるが、一般的に過剰施肥でない健康的な土壌環境下では、Pの過剰施用によって作物体はZn欠乏を引き起こすものと考えるのが妥当であると思う。なぜならば、リン酸の施用水準試験に対して、さらに亜鉛を肥料という形で施用した場合、さらに作物の収量が向上することが明らかとなっているからである(Takkerら1976)。

本研究におけるカリ肥料施用水準試験とは直接関係ないが、このようなリン酸の過剰施肥土壌に対して、移住者らは安易にZnを含めた微量元素肥料も多量に施用してきたのだから、先のリン酸肥料と亜鉛肥料の施用水準比較試験(二因子法に準ずる)の同様の傾向が認められたのであろう。

つまり、グアタパラで生じた過剰施肥土壌に対しては、同じブラジルとはいえ、ファゼンダ(大農場主)を含めたブラジル人の農用地(酸性土壌)とは違った視点で物事を考え、取り組まなくてはならないということなのかもしれない。このことは、グアタパラ移住地のみならず、他の日系移住地においても該当する要因であると考えている。それゆえ、本誌を通じて、早急に過剰施肥状態を調査する必要性を訴えているのである。

7. 芯の利用の可能性

トウモロコシの芯であるが、筆者は勉強不足であり、あまりその利用法を知らない。実際問題、小農のフィールドでは、家畜飼料として利用されている

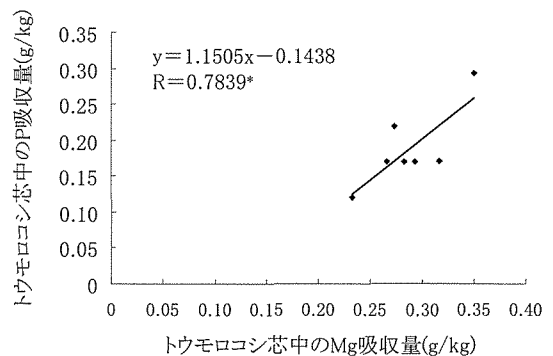


図3 トウモロコシ芯中のPおよびK吸収量との関係

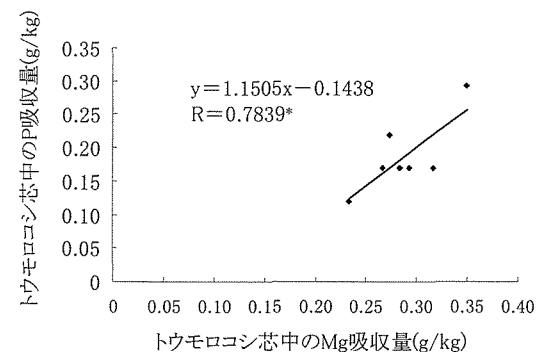


図4 トウモロコシ芯中のPおよびMg吸収量との関係

のであろう。筆者はケニアにおいて、多くの小農のフィールドを視察調査したが、トウモロコシの芯・茎葉はバナナの収穫残渣と一緒に家畜の餌として

利用されていた。とにかく、軽量であるが硬い資材である。家畜飼料としての用途以外としては、消却（その前後に粉碎処理が必要かも…）して草木灰としての利用は考えられよう。とにかく、基本的な事項としては、過剰施肥土壌で栽培された作物は、子実のみならず収穫残渣すべてをその系から除外することである。そのことを記したかったため、たとえば、不要な資材である芯であっても、その収量ならびに主要養分の吸収量を測定し、その結果を報告したかったということである。

いずれにせよ、小規模かつ不要な残渣であれ、過剰施肥土壌環境下ではその扱いや処理については、いかに重要な事項であるかがおわかりいただけることであろう。

8. 次報では

次報では、引き続き、茎葉の結果について報じていく。この茎葉こそ、家畜の飼料の代替物として期待できる資材であると考えている。さらに、その次の稿（9月号）で、前報、本稿および次報でそれぞれ紹介した子実、芯、茎葉の収量ならびに主要養分の吸収量結果も交えて、総合的に考察していきたい。

引用図書および文献

- B. van Raij., H. Cantarella., J.A. Quaggio. e. Â.M.C. Furlani 1997. *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, Boletim Técnico 100, 2a edição revisada e atualizada, Instituto Agronômico, Campinas, SP, Brasil, pp.285.*
- B. van Raij., J.C. de Andrade., H. Cantarella. e J.A. Quaggio 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais, Instituto Agronômico, Campinas, SP, Brasil, pp.285.*
- EMBRAPA, Empresa Cerrados, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2002. *Cerrado, Correção do solo e adubação, [Editores : Djalma Martinhão Gomes de Sousa, Edson Lobato], Planaltina, DF, Brasi, pp.188-191.*
- 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎 1998. *土壌肥料用語事典, 農山漁村文化協会. pp.214-225.*
- グアタバラ三十五年史編集委員 1999. *翔洋-第二のふるさと三十五年史-, 1962~1997, グアタバラ農事文化体育協会編, pp.134.*
- 移住史ライブラリ 2004. *移住史ライブラリ indexの移住地図より引用. サンパウロ州移住地図. <http://member.nifty.ne.jp/GENDAIZA/aliansa/lib/index.html>*
- Prasad, R. and J.E. Power 1997. *Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishers, Boca Raton, New York. pp.313-321.*
- 高橋英一・谷田沢道彦・大平孝次・山田芳雄・田中 明 1980. *作物栄養学. 朝倉書店. pp.126-157, 165-173.*
- 伊達 昇 編 1989. *肥料便覧[第4版]. 農山漁村文化協会. pp.372.*
- 富田健太郎 2005. *ブラジル連邦共和国が採用している土壌分析・土壌診断に基づいた施肥勧告(2)ーサンパウロ州における公定法(Part I)ー. 農業および園芸 80(6): 664-671.*
- 富田健太郎 2005. *熱帯アメリカのアグロパストラル・システムの事例(その 1)ーブラジルのセラード地帯の土壌特性についてー. 畜産の研究 59(7): 825-832.*
- 富田健太郎 2005. *熱帯アメリカのアグロパストラル・システムの事例(その 2)ーブラジルのセラード地帯の土壌改良と多様な耕耘法の紹介ー. 畜産の研究 59(8): 925-934.*
- 富田健太郎 2005. *ブラジル連邦共和国が採用している土壌分析・土壌診断に基づいた施肥勧告(3)ーサンパウロ州における公定法(Part II)ー. 農業および園芸 80(8): 875-881.*
- 富田健太郎 2006. *過剰施肥がニンニクおよびトウモロコシの生産性に及ぼす影響ーブラジル・グアタバラ日系移住地での事例研究ー. ラテンアメリカ・カリブ研究 (第14号). つくばラテンアメリカ・カリブ編集委員会. pp.12-19.*
- 富田健太郎 2006. *熱帯アメリカの酸性土壌の矯正とリン酸肥沃度の向上(6)ーResinaによる有効態P抽出液の組成とその特性(2)ー. 農業および園芸 81(6): 682-690.*
- 富田健太郎 2007. *熱帯アメリカの酸性土壌の矯正とリン酸肥沃度の向上(13)ーパラグアイにおける土壌分析およびピラポ日系移住地の実情ー. 農業および園芸 82(6): 687-695.*
- 富田健太郎 2007. *ブラジル, サンパウロ州における土壌肥科学的研究事例(1)ーブラジル, サンパウロ州の土壌特性および酸性矯正法を中心にー. 農業および園芸 82(10): 1106-1114.*
- 富田健太郎 2007. *ブラジル, サンパウロ州における土壌肥科学的研究事例(2)ーイネ, トウモロコシおよびニンニク生産性向上に関する研究を中心にー. 農業および園芸 82(11): 1208-1218.*
- 富田健太郎 2007. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ移住地での研究事例(3)ー筆者によるグアタバラ移住地における研究業務の取り組み方およびProf. Dr. Takashi Muraokaの特別講演の開催ー. 農業および園芸 82(12): 1302-1311.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(4)ーグアタバラ移住地の農用地の理化学的特性ー. 農業および園芸 83(1): 30-40.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(5)ーグアタバラ移住者の農用地の理化学的特性と日本の北海道網走での事例との比較(1)ー. 農業および園芸 83(2): 292-299.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(6)ーグアタバラ移住者の農用地の理化学的特性と日本の北海道網走での事例との比較(2)ー. 農業および園芸 83(3): 379-386.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(7)ーグアタバラ移住者の農用地の理化学的特性と日本の北海道網走での事例との比較(3)ー. 農業および園芸 83(4): 488-495.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(8)ーグアタバラ移住者の農用地を利用したノイバウエルポットもどき幼植物試験の成果(1)ー. 農業および園芸 83(5): 581-589.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(9)ーグアタバラ移住者の農用地を利用したノイバウエルポットもどき幼植物試験の成果(2)ー. 農業および園芸 83(6): 681-688.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(10)ーグアタバラ移住者の農用地を利用したノイバウエルポットもどき幼植物試験の成果(3)ー. 農業および園芸 83(7): 792-798.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(11)ーグアタバラ移住者の農用地を利用したノイバウエルポットもどき幼植物試験の成果(4)ー. 農業および園芸 83(8): 898-904.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(12)ーグアタバラ移住者の農用地を利用したノイバウエルポットもどき幼植物試験の成果(5)ー. 農業および園芸 83(9): 1003-1009.*
- 富田健太郎 2008. *ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(13)ーグアタバラ移住者の農用地を利用したノイバウエルポットもどき幼植物試験の成果(6)ー. 農業および園芸 83(10): 1103-1108.*

- 富田健太郎 2008. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(14)ーノイバウエルポットもどきによるカリ肥料施用比較試験の成果(1)ー. 農業および園芸 83(11): 1198-1204.
- 富田健太郎 2009. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(15)ーノイバウエルポットもどきによるカリ肥料施用比較試験の成果(2)ー. 農業および園芸 84(1): 100-106.
- 富田健太郎 2009. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(16)ーグアタパラセンター圃場でのニンニクの品種 vs リン酸の栽培比較試験に関する報告ー. 農業および園芸 84(2): 282-289.
- 富田健太郎 2009. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地

- での研究事例(17)ーグアタパラセンターにおける化学分析室の設置背景および概況ー. 農業および園芸 84(3): 369-379.
- 富田健太郎 2009. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(18)ーグアタパラセンター再赴任に当たっての新たな問題ー. 農業および園芸 84(4): 470-476.
- 富田健太郎 2009. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(19)ー塩加の施用が過剰施肥土壌での雨季作トウモロコシの生産性に及ぼす影響(1)ー. 農業および園芸 84(5): 551-557.
- 富田健太郎 2009. ブラジル, サンパウロ州グアタバラ日系移住地での研究事例(20)ー塩加の施用が過剰施肥土壌での雨季作トウモロコシの生産性に及ぼす影響(2)ー. 農業および園芸 84(6): 645-651.

外国文献抄録

ルビスコ小サブユニットを過剰発現した形質転換イネにおける葉位別の RuBisCO 含量および光合成

Suzuki Y., T. Miyamoto, R. Yoshizawa, T. Mae and A. Makino 2009. Rubisco content and photosynthesis of leaves at different positions in transgenic rice with an over expression of *RBCS*. Plant, Cell and Environment 32: 417-427.

現在の気象条件では, ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO) の活性が光飽和化での光合成の制限要因となる. 本研究では RuBisCO 小サブユニットの重複遺伝子族, *OsRBCS2* を過剰発現させた系統を用いて, イネの葉位別で RuBisCO 含量および光合成にどのような影響があるか調査した.

形質転換体における RuBisCO 含量は最上位葉 (第 12 葉) および最上位展開葉 (第 11 葉) で野生型に比べて有意に増加したが, 下位葉 (第 8~10 葉) では野生型と同じ程度であった. 下位葉における全 *RBCS* および RuBisCO 大サブユニット遺伝子 (*rbcl*) の mRNA 量は展開中の葉よりかなり少なかったことから, 葉の老化過程において RuBisCO 合成能力が不足し, RuBisCO 含量を維持できなかった可能性がある.

第 11, 12 葉に比べて第 8, 9 葉で *RBCS* 転写産物の蓄積量が低下したが, これは *RBCS* の過剰発現に *OsRBCS2* 自身のプロモーターを用いたためと考えられる. *OsRBCS2* のプロモーター強度は葉の一生を通じて *RBCS* 転写レベルを維持するには不十分である可能性がある. また, *OsRBCS3~5* の転写レベルは *OsRBCS2* の過剰発現による影響を受けなかったことから, *RBCS* ファミリーの発現は独立して制御されると考えられ, このことが老化過程の葉で全 *RBCS* の

転写レベルを強化することの難しさの要因になっていると考えられる.

形質転換体における第 11 葉では RuBisCO の活性化状態が野生型に比べて低かった. また, RuBisCO 含量が増加した一方で非水溶性窒素画分が減少した. これは RuBisCO に対する窒素分配の増加により他の窒素画分が犠牲になり, 両者の平衡が乱されたためと考えられる. 一方, 第 11 葉以下の葉における窒素分配は野生型と同様であり, RuBisCO の活性も野生型と差が無かった. これらの結果は葉が完全展開した直後に RuBisCO 含量における選択的な減少が生じたと考えられる.

結果として, 同じ葉位における光合成活性は形質転換体と野生型で差は無かった. 同様に, バイオマスにも差は無かった. このことから, *RBCS* の過剰発現により最上位葉および完全展開葉での RuBisCO タンパク含量は増加するが, 活性化状態の下向き制御により光合成活性やバイオマスの増加には結びつかないと言える. しかし, 下位葉においては電子伝達速度から推定された光合成活性が RuBisCO 含量から推定されたものより大きかった. 一般に葉の老化過程において RuBisCO は他の光合成構成要素に比べて速く分解することが知られており, *RBCS* の過剰発現による光合成の強化にはまだ可能性があると考えられる. その際用いるプロモーターは老化関連遺伝子のもので化学的に誘導できるものが良いかもしれない.

(東京大学大学院農学生命科学研究科作物学研究室
野崎億春)