第2卷 第4期
1996年12月

植物营养与肥料学报
PLANT NUTRITION AND FERTILIZER SCIENCE

Vol.2 No.4
Dec. 1996

钛对小麦旗叶光合功能及穗部性状的影响①

张世平　张启峰

（黑龙江大学分析测试中心，哈尔滨　150080）

张其德　卢从明

（中国科学院植物研究所，北京　100093）

摘　要

研究了钛对小麦旗叶某些光合功能和穗部性状的影响。结果表明，钛能提高小麦旗叶的叶绿素和类胡萝卜素含量、PSⅡ活性、PSⅡ原初光能转化效率以及潜在光合作用量子转化效率；加速小麦的灌浆进程，促进穗粒数和千粒重的增加，有利于提高小麦产量。由于钛能改善植物的光合功能和作物产量的构成因素，因此，钛制剂在农业生产上将有良好的应用前景。

关键词　钛　小麦　光合功能

钛是否是植物的必需元素，目前尚未定论。但许多研究证明绿色植物体内含有钛，而且国内外已有不少关于钛促进植物生长、提高作物产量和改善品质作用，以及钛的生理效应等方面的报道[1]。但是，关于钛对光合功能影响的报道尚不多见。因此，我们在利用螯合钛溶液浸种小麦，研究钛对小麦幼苗光合特性影响[9]的基础上，进一步在小麦扬花初期进行叶面喷施，研究钛对小麦旗叶某些光合功能和穗部性状的影响，为探索钛制剂在农业生产上的应用前景提供依据。

多种钛剂的实验已证明，不含螯合剂的海绵钛水溶液其作用效果与供试的几种螯合钛属同等水平，说明对植物的有益作用完全是由于钛的贡献，而不是螯合剂的作用[11]。此外，经中国预防医学科学院劳动卫生与职业病研究所的检验，证明供试的螯合钛剂，按我国现行农药急性分级标准，属于低毒类物质，其毒性类似于食用盐和联合国推荐用于食品的防腐剂——山梨酸钾，而远比目前在饮料中广泛使用的防腐剂——苯甲酸钠低。这一结果有助于解除人们对钛是否会危害人、畜健康的的顾虑，有助于钛制剂在农业生产中的推广应用。

一、材料与方法

以冬小麦（*Triticum aestivum*）京冬6号为材料。小区试验设于中国农业科学院试验田内，3次重复。在小麦整个生育过程中，按一般大田管理。仅于扬花初期（5月9日），用含8mg/kg钛的螯合钛液叶面喷施一次，对照用等量清水喷施。

按Lichtenthaler和Wellburn[2,12]的方法用UV-190型分光光度计测定和计算叶片单位鲜重和叶面积的叶绿素

① 冯丽洁、刘丽娜、张群等同志参加部分技术工作，特此致谢！
收稿日期：1996－01－15

和类胡萝卜素含量。用PAM型荧光计，按常用的方法[4,7]测定荧光诱导动力学参数。测定时，均采用随机取样法，并以旗叶为对象，每次每小区至少用5个样品进行测定。

二、结果与分析

(一)钛对小麦旗叶光合色素含量的影响

5月9日用供试的钛溶液进行叶面喷施后，从13日起，旗叶的光合色素含量开始增加，到30日喷施钛的旗叶，其色素含量与对照相比，没有多大差异。但喷施钛后4～12天期间，以单位鲜重和单位叶面积计算，叶绿素含量平均分别增加11.4%和13.0%；类胡萝卜素含量的变化也出现类似结果，平均分别增加7.1%和9.1%(表1)。从表1的结果还可以看到，叶面喷施钛后，叶绿素a/b比值略有下降，从对照的3.28下降至3.08，这说明钛更有利于叶绿素b的积累。因此有利于增加捕光色素蛋白复合体的含量，这与钛能促进叶绿体对光能吸收的结果[9]相一致。此外，钛提高旗叶的光合色素含量也与用供试钛溶液浸种后的幼苗叶片所得的结果[9]十分类似，只不过叶面喷施对上述两类光合色素所提高的百分数略低于浸种的结果而已。

表 1　钛对小麦旗叶叶绿素，类胡萝卜素含量以及Fv/Fo，Fv/Fm和Fd/Fs比值的影响

Table 1　Effect of Ti on chlorophyll, carotenoid content and Fv/Fo, Fv/Fm and Fd/Fs ratios of wheat flag leaves

处理 Treat. (Ti, mg/kg)	叶绿素 Chlorophyll		Chl a/b	类胡萝卜素 Carotenoid		Fv/Fo	Fv/Fm	Fd/Fs
	mg/g,fr.wt.	μg/cm²		mg/g,fr.wt.	μg/cm²			
0	4.38	75.5	3.28	0.70	12.1	1.697	0.624	0.653
8	4.88	85.3	3.08	0.75	13.2	1.933	0.655	0.751

(二)钛对小麦旗叶荧光动力学参数的影响

在对小麦叶片进行室温叶绿素a荧光诱导动力学测定时，可获得5个动力学参数，即：固定荧光(Fo)、可变荧光(Fv)、最大荧光(Fm)、荧光下降值(Fd)和稳态荧光值(Fs)。其中，Fo是在很弱、不足于引起光反应的调制光的照射后，由受激的PSⅡ天线色素发射出来的，它与光合作用的光反应无关；而Fv是经能引起光化学反应的连续饱和光——光化光照射后产生的，它的强度大小及其变化过程与PSⅡ的原初反应过程紧密相关，它可作为PSⅡ反应中心大小的尺度。人们通常用Fv/Fo和Fv/Fm的比值，分别代表PSⅡ活性和PSⅡ的原初光能转化效率[5,6,8,10]，而Fd/Fs的比值(即R_{Fd}值)可用于度量叶片潜在光合作用量子转化效率[13]。

从5月11日到6月3日进行的6次测定结果表明，喷施钛后的第3天，上述3种比值就有明显提高，到喷施后第22天各比值仍高于对照，直到6月3日，除Fv/Fo和Fv/Fm值与对照相比几乎持平外，R_{Fd}值仍然比对照高5.8%(表1)。表明喷施钛后的3～22天期间，钛平均提高小麦旗叶的PSⅡ活性、PSⅡ原初光能转化效率和潜在光合作用量子转化效率分别为13.9%、5.0%和15.0%。

(三)钛对小麦穗部性状的影响

小麦经济产量，取决于单位面积的穗数、每穗粒数和千粒重。由于叶面喷施钛的试验是在小麦扬花初期进行的，此时单位面积的穗数已确定，不可能对其产生影响，但对穗粒数和千粒重则有影响。表2表明，钛能加速小麦的灌浆进程，使在同一时期内，穗粒重和千粒重提高。

表 2 钛对小麦灌浆进程的影响

Table 2 The effect of titanium on grain weight per spike and one thousand seeds weight of wheat at milk stage

取样日期(日/月) day/month	处理 Treat. (Ti, mg/kg)	穗粒重(g) grain wt. per spike	千粒重(g) 1000-seed wt.
23/5	0	0.41	14.22
	8	0.52	16.55
20/5	0	0.74	26.95
	8	1.01	33.40
3/6	0	1.05	37.90
	8	1.27	39.99
9/6	0	1.45	47.85
	8	1.57	48.17

每小区随机取20个穗 20 spikes were sampled at random.

表3表明,钛有提高小麦穗粒数和千粒重的作用。在本试验条件下,每穗平均增加0.9粒,千粒重平均增加4.7%,小麦增产率达7.3%。差异显著性测定结果表明,穗粒数和产量的增加均未达到显著水平,而千粒重的增加则达到显著水平($P<0.05$)。可见,在小麦生育后期喷施钛制剂,对穗部性状的影响,主要表现在对千粒重的提高方面。

表 3 钛对小麦穗粒数、千粒重和产量的影响[1)]

Table 3 The effect of titanium on the grain number per spike, one thousand seeds weight and yield of wheat

处理 Treat. (Ti, mg/kg)	穗粒数(粒) Grain number per spike	千粒重(g) 1000-seed wt.	产量(公斤/公顷) Yield (kg/hm^2)	%
0	25.1±1.1	48.6±0.9	5656.5±160.5	100.0
8	26.0±1.7	50.9±0.4	6067.5±274.5	107.3

1) 计算穗粒数和千粒重时,每个重复随机取100穗,产量是根据小区平均产量乘以0.85而折算出的。7月16日收获。
100 spikes were sampled at random when calculating the grain number per spike and weight of one thousand seeds. Yield = (average yield of experimental area of a hectare)×0.85. Harvested at 16, July.

钛之所以能加速小麦的灌浆速度,促进穗粒数和千粒重的增加,显然与它能提高光合色素的含量,有助于小麦吸收更多光能供光合作用所利用,改善光合功能,提高小麦的转能效率,为碳同化提供较充足的能量,促进有机物质的积累,保证为子粒的发育提供更充足的光合产物。

三、讨 论

钛能提高小麦叶片光合色素的含量,并促进叶绿素b的积累,而叶绿素b是类囊体膜上集光色素蛋白复合体的主要成分。因此它可促进光合膜对光的吸收和利用,这与徐黎等[11]和我们[9]已有的结果相一致。钛还能提高叶片类胡萝卜素的含量,这不仅有助于植物对光能的吸收,而且还可提高植物的抗逆性,因为类胡萝卜素,尤其是β-胡萝卜素,能清除植物体内不稳定的三线态叶绿素,以及具有强氧化作用、对光合膜具有严重破坏作用的单线态氧,从而保护受光激发的叶绿素免遭光氧化的破坏;并使光合膜免遭活性氧的危害或降低其受损程度;同时有助于提

高植物抗光抑制的能力。可见，钛能使植物体内形成一种保护机构，以保证光合作用得以高效运转。这对于处于强光、高温和干旱等逆境下的植物有着重要意义。

植物的光合作用过程，实际上是把太阳能转化成生物化学能的过程，作物的产量，尤其是生物学产量与它们的光能转化效率，光合速率等密切相关。试验结果表明，钛可提高小麦的PSⅡ活性、PSⅡ原初光能转化效率以及叶片的潜在光合作用量子转化效率，这有助于植物把光合色素所吸收的光能迅速而高效地转化成生物化学能，推动光合电子传递的进行，促进同化能力—ATP和NADPH的形成，通常ATP和NADPH供应不足是CO_2固定和同化的限制因子之一[3,14]。可见，钛通过促进形成更多的同化能力，有利于碳同化的顺利进行，为植物制造更多的碳水化合物奠定良好基础。

由于碳水化合物等同化产物的供应较为充足，从而改善了作物的"源"、"库"关系，这不仅可克服因养分供应不足而造成的败育，而且可使子粒更为饱满。这可从经喷施钛后，加速小麦的灌浆进程，增加穗粒数、穗粒重和千粒重使小麦的产量提高(表2、3)得到证明。本试验只在小麦的扬花初期喷施一次，可能限制了钛的增产效果，如果能在小麦孕穗初期、扬花期和灌浆初期各喷施一次，也许会有更好的增产效果，这方面值得进一步深入探讨。

总之，从以前的研究结果[9,11]和本文所得的初步结果看，钛有利于作物个体和群体光合作用的进行和产量潜力的发挥以及抗逆性的提高，可作为实现作物高产、高效抗逆的辅助措施应用于农业生产。

参 考 文 献

1 万春侯，1992：钛与植物生长。见中国科学院北京科资公司、中国科学院科资植物促长素厂编，891植物促长素材料选编(一)论文集。1～14。

2 张其德，1985：测定叶绿素的几种方法。植物学通报，3(5)：60～64。

3 张其德、郭宗华，1988：光强度对植物光合器和光合功能的影响，北京农学院学报，3(3)：76～86。

4 张其德、张启峰、张世平，1989：2，3-环氧丙酸钾对水稻叶片和叶绿体荧光特性的影响。中山大学学报(自然科学论丛)，8(5)：30～37。

5 张其德、林世青、唐崇钦、匡廷云，1990：运用叶绿素a荧光诱导动力学技术检测水稻生产潜力。生物物理学报，6(2)：153～158。

6 张其德、唐崇钦、林世青、郭宗华、匡廷云，1991：高产与低产水稻品种的光谱特性比较。植物学集刊(第五集)，科学出版社，183～190。

7 张其德、侯云高、林世青、唐崇钦、匡廷云，1991：水稻的荧光诱导动力学参数与产量潜力的关系。见：熊振民、梁承邺主编，水稻育种技术基础研究论文集，中国科学技术出版社，193～205。

8 张其德、娄世庆、卢从明、匡廷云，1994：杂交水稻威优64及其亲本光谱特性的比较。植物学集刊，科学出版社，209～216。

9 张启峰、张世平、卢从明、张其德、万春侯，1996：钛对小麦幼苗光合特性的影响。植物营养与肥料学报，2(1)：84～90。

10 林世青、许春辉、张其德、徐黎、毛大璋、匡廷云，1992：叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用。植物学通报，9(1)：1～16。

11 徐黎、林世青、温晓刚、汤锡珂、匡廷云，1994：钛对小麦叶片叶绿素荧光动力学的影响。植物学集刊(第七集)，科学出版社，339～343。

12 Lichtenthaler H K, Wellburn A R, 1983: Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 603:591～592.

13 Lichtenthaler H K, Burgsthaler R, Buschmann C et al., 1983: Effects of high light and high light stress on composition, function and structure of the photosynthetic apparatus. In: Marcell R, Clijsters H, van Poucke M (eds.), Effects of Stress on Photosynthesis. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague, 353～370.

14 Lichtenthaler H K, 1983: Differences in chlorophyll leves, fluorescence and photosynthetic activity of leaves from high-light and low-light seedlings. In: Metzner H(ed.), Photosynthesis and Plant Productivity. Wissenschafliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, Printed in Germany, 194～198.

EFFECT OF TITANIUM ON SOME PHOTOSYNTHETIC FUNCTIONS OF FLAG LEAVES AND SPIKE CHARACTERISTICS OF WHEAT

Zhang Shiping Zhang Qifeng
(The Center of Analysis & Test of Heilongjiang University, Harbin 150080)

Zhang Qide Lu Congming
(Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing 100093)

Summary

The effects of titanium on some photosynthetic functions of the flag leaves and characteristics of wheat spike were studied in this paper. The experimental results showed that the contents of chlorophyll and carotenoid in unit fresh weight or in unit leaf area, PS Ⅱ activity, the efficiency of primary conversion of light energy of PS Ⅱ and the efficiency of potential photosynthetic quantum conversion of a leaf from wheat flag leaves were raised by titanium. At the same time, titanium was advantageous to the accelerate of wheat milk course and the increase of per spike grain and one-thousand-grain weight. Owing to titanium being able to improve plant photosynthetic functions and component factors of crop yield, it will have fine prospects for practical application to argricultural production.

Key words Titanium Wheat Photosynthetic function