

新型土壤改良剂对冬小麦生长及养分吸收的影响^{*}

杜红霞^{1,3}, 吴普特^{1,2,3}, 冯浩^{2,3}, 王百群², 马军勇^{1,3}, 杜建⁴

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 国家节水灌溉杨凌工程技术中心, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过对冬小麦施加一种以秸秆为主要原料研制的新型土壤改良剂(简称 PJG), 采用田间试验, 探讨其对冬小麦生长、产量、各生长期养分含量及氮、磷累积吸收量的影响。结果表明: 施加 PJG 土壤改良剂能提高小麦地上部各生长期干物质累积量, 单施可提高 8.4%, 与氮肥配施可提高 37.8%; 可增加植株地上部各器官中氮、磷含量及其累积吸收量, 但对钾素影响不大。施加 1 500 kg/hm² 的 PJG 改良剂, 能较对照增产 1.90%, 与氮肥配施效果更佳, 最高增产 9.96%。综合考虑, 应用 PJG 土壤改良剂时应与适量的氮肥配施, 对作物的生长和产量的提高效果更佳。

关键词: 土壤改良剂; 冬小麦; 干物质; 养分吸收

中图分类号: S158.3; S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2009)03-0097-05

Influence of New Soil Conditioner on Growth and Nutrient Absorption of Winter Wheat

DU Hong-xia^{1,3}, WU Pu-te^{1,2,3}, FENG Hao^{2,3}, WANG Bai-qun², MA Jun-yong^{1,3}, DU Jian⁴

(1. College of Resource & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling,

Shaanxi 712100; 3. National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling,

Yangling, Shaanxi 712100; 4. College of Agriculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Application for the new soil conditioner that mainly material was straws (PJG for short) in the wheat field; this experiment was carried out to study the influence of PJG on the growth, yield, nutrient concentration in different growth stages, and accumulation of N, P. The results showed that the used of PJG can improve accumulation of dry matter of winter wheat during growing stages, single application of PJG can increase 8.4%, it was mixed with N fertilizer, it was increased 37.8%; applying of PJG also can raise N, P concentration and amount of N, P absorption in shoots of winter wheat, but K was influenced unobvious by PJG. The yield was advanced at 1.90% when soil conditioner of PJG was used at 1 500 kg/hm² in wheat field, when the combined application of PJG and nitrogen fertilizer, the yield was increased even more obviously reached 9.96%. By comprehensive consideration, coupling of PJG and appropriate amount of nitrogen fertilizer has a better effect on wheat growth and yield.

Key words: soil conditioner; winter wheat; dry matter; nutrient absorption

在干旱、半干旱地区, 水分亏缺和土壤肥力低下一直是限制作物增产的两个重要的非生物因素^[1-2]。施用土壤改良剂改良土壤是在现代化工的基础上发展起来的有别于传统土壤改良的新方法。土壤改良剂的研究始于 19 世纪末, 其在一定程度上能够松土、保湿、改良土壤理化性状, 促进植物对水分和养分的吸收^[3]。西南农业大学曾觉廷的研究证明, 土壤改良剂能使分散的土粒形成微团聚体, 进一步形成团聚体, 不仅增加土壤中水稳性团聚体的含量, 而且显著提高团聚体的质量^[4]。随着土壤改良剂在农业和生态环境中的广泛应用, 国内外土壤改良剂的新产品也越来越多, 研究较多的有沸石、粉煤灰、污泥、绿肥、聚丙烯酰胺等单一改良剂^[5-10], 但以农副产品秸秆为主要成分而研制的改良剂报道较少。本试验所用是一种以成本较低且环保的农作物秸秆为主要原料研制的新型土壤结构改良剂 PJG。对此改良剂的基本水分特性和对玉米苗期生长及养分吸收的影响已有研究^[11, 12], 并得出了较好的结果。本试验将进一步通过对冬小麦施加 PJG 土壤改良剂后, 研究其对冬小麦

* 收稿日期: 2008-10-30

基金项目: “十一五” 863 计划重点项目课题(2006AA100204); 新世纪优秀人才支持计划项目(01140602); 高等学校学科创新引智计划资助

作者简介: 杜红霞(1979-), 女, 宁夏吴忠人, 在读博士, 主要从事雨水资源高效利用、水土保持研究。E-mail: duhongxia1016@163.com

通讯作者: 吴普特(1963-), 男, 陕西武功人, 教授, 主要从事现代节水农业与水土保持研究。E-mail: gjzwpt@vip.sina.com

籽粒产量及地上部干物质累积量、植株各器官氮、磷、钾含量及氮、磷素吸收累积和分配特征,以期为这种新型土壤改良剂在大田的推广及应用提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验小区位于陕西关中平原西部杨凌五泉乡岭后村,年平均温度 12.9,极端最高气温 42,最低气温 -19.4,全年无霜期 221 d,年平均蒸发量 884.0 mm,年平均降水量 637.6 mm,年内降雨分配不匀,60%以上的降雨集中在 7,8,9,10 四个月。供试土壤为中等肥力轻黏土,其 0-40 cm 土壤养分状况为:有机质 13.6 g/kg,全氮 0.86 g/kg,全磷 0.97 g/kg,速效磷 47.51 mg/kg,速效钾 317.5 mg/kg。

1.2 试验材料与试验设计

本试验于 2007-10-18 至 2008-06-04 进行。冬小麦品种为西农 979。选用的土壤改良剂是由西北农林科技大学国家节水灌溉杨凌工程技术中心自主研发,以秸秆为主要原料的新型土壤改良剂(简称 PJG)。试验设 PJG 和氮肥两因素,PJG 水平分别为 0,1 500 kg/hm²(代号分别为 P0,P1),氮肥(纯氮)水平分别为:0,160,288 kg/hm²(代号分别为 N0,N1,N2)。采用完全随机设计,共 6 个处理,重复 3 次,试验小区面积为 3.5 m × 4 m,小区之间留有 40 cm 保护行。PJG 和氮肥均一次性在播种前撒施,翻地后播种。

1.3 样品的采集与测定方法

冬小麦样品采集分 4 个时期进行。苗期(2008-03-01)、拔节期(2008-04-10)、灌浆期(2008-05-12)和成熟期(2008-06-04),在各小区行上随机选取 3 段 20 cm 长的小麦植株,并立即带回实验室,分茎、叶、籽粒(苗期、拔节期不分)分别测定其鲜重。再分别剪碎、取一部分装入信封于 105℃ 杀青 30 min,之后 70℃ 烘干至恒重并称干重,并用粉碎机将样品粉碎备用。H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮,用全自动凯氏定氮仪测定植物全氮含量,用钒钼黄比色法测定全磷含量,用火焰光度计法测定全钾含量。运用 EXCEL 和 DPS 分析数据。

2 结果与讨论

2.1 冬小麦籽粒产量变化

冬小麦于 6 月 4 日收割,每小区以 1 m × 1 m 记产。由试验结果可知,施加 PJG 土壤改良剂和氮肥能明显提高冬小麦产量。PJG 与低氮肥混施(P1N1)和单施高氮肥(P0N2)的增产效果相近,分别较对照增产 5.0% 和 5.8%。PJG 与氮肥混施,高氮肥条件下增产效果更加显著,较对照增产 9.96%,比单施 PJG、高氮肥的增产效果之和 5.50% 还要高出 4.46%。说明 PJG 与肥料混施,不仅不影响各自的增产效果,还能产生交互作用,增产效果更加明显。各处理冬小麦千粒重与产量的趋势基本一致。

2.2 冬小麦不同生育期干物质累积量的变化

干物质的累积虽不等于经济产品的形成,但对任何一类作物来说,营养生长阶段所形成的干物质累积既控制着生物产量,也控制着经济产量。因为绿色部分的增长可以为籽粒或贮藏组织提供光合产物;没有后者,也就没有经济产物的形成过程。由图 1 可知,不同处理冬小麦在不同生长期地上部干物质累积量曲线呈典型的“S 型”变化。前期缓慢增加,随后迅速增长。从各生长时期干物质累积量来看,不同处理条件下在冬小麦拔节期、灌浆期、成熟期占总累积量的比例分别为 16.6%~25.5%,9.8%~59.2%,10.7%~12.4%。可见,虽然不同施肥处理干物质的绝对累积量不同,但累积比例十分相似。干物质的累积有两个累积高峰期,即拔节和灌浆期。施加 PJG 和施氮处理后,各处理干物质的累积量明显高于对照。纵观整个生长期,P1N2 处理其干物质累积量最高,较对照(13.83 t/hm²)高 37.8%;P0N2 处理次之,较对照高 27.1%;其他处理亦较对照高。说明以秸秆为主要原料的 PJG 土壤改良剂能提高土壤肥力,促进冬小麦生长,进而有利于植株对养分的吸收。

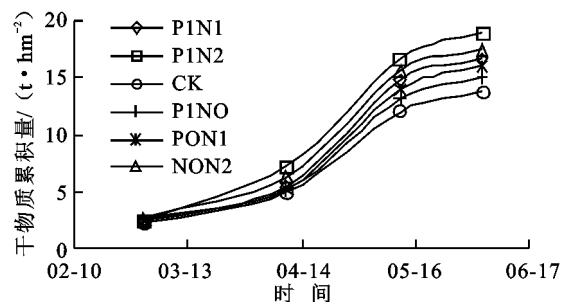


图 1 冬小麦生长期间干物质累积量的变化

2.3 冬小麦不同生育期地上部氮、磷、钾含量的变化

N, P, K 是作物生长发育不可缺少的营养元素,它们既是构成作物体内许多重要有机化合物的组成部分,又以多种形式参与作物体内各种生长过程。冬小麦地上部分(茎秆、叶片、穗部营养体和籽粒)在生长期氮、磷、钾含量变化如表 1 所示。随着生育阶段的推进,茎秆和叶片中氮含量逐步减小,叶片中氮含量在拔节至灌

浆期变化较小,而在灌浆期后迅速下降(由4.201%下降到1.129%);茎秆中氮含量则在整个生长期降幅均很大,且在灌浆之前降幅比其之后大;籽粒中氮的含量由灌浆期的1.779%增至2.569%。这是由于干物质的积累速度超过了养分累积速度,生育后期茎叶中的氮含量显著低于籽粒中的氮含量,说明N素向籽粒转移。

表1 冬小麦不同生长期地上部氮、磷、钾养分含量的变化

处理	苗期 茎叶	拔节期		灌浆期			成熟期				
		叶	茎	叶	茎	籽粒	叶	茎	籽粒	穗皮	
PIN1	N	4.513	4.395	2.406	3.877	1.363	1.858	1.312	0.785	2.531	0.759
PIN2		4.593	4.555	2.687	4.201	1.506	1.974	1.129	0.814	2.569	0.671
CK		4.135	4.275	2.247	3.625	1.101	1.779	1.161	0.706	2.451	0.673
PIN0		4.350	4.366	2.416	4.063	1.265	1.835	1.257	0.840	2.530	0.925
PON1		4.471	4.371	2.524	3.944	1.224	1.837	1.275	0.827	2.542	0.797
PON2		4.491	4.406	2.566	4.154	1.256	1.894	1.173	0.812	2.547	0.876
PIN1	P	0.305	0.388	0.370	0.341	0.203	0.313	0.098	0.057	0.363	0.088
PIN2		0.308	0.393	0.397	0.351	0.222	0.324	0.108	0.059	0.369	0.088
CK		0.268	0.358	0.352	0.317	0.163	0.273	0.091	0.048	0.347	0.067
PIN0		0.292	0.413	0.388	0.325	0.204	0.306	0.097	0.052	0.359	0.131
PON1		0.301	0.369	0.378	0.332	0.203	0.299	0.107	0.063	0.351	0.114
PON2		0.307	0.373	0.391	0.363	0.219	0.324	0.103	0.068	0.354	0.100
PIN1	K	3.018	3.440	3.677	3.057	2.208	0.716	2.907	3.127	0.364	0.826
PIN2		3.062	3.577	3.149	3.681	2.367	0.764	2.637	3.029	0.348	0.670
CK		2.717	3.180	3.361	2.851	2.161	0.693	2.295	2.843	0.327	0.562
PIN0		2.919	3.289	3.523	2.784	2.318	0.635	2.443	3.576	0.352	0.628
PON1		2.826	3.148	3.479	2.858	2.275	0.721	2.562	2.831	0.331	0.778
PON2		2.925	3.228	3.391	2.660	2.282	0.638	2.287	3.031	0.371	0.928

由表1还可看出,不论是PJG和氮肥单施,还是两者配施,冬小麦地上部分氮含量均较对照高,且增幅大小因处理不同而异。不同处理拔节期、灌浆期、成熟期叶片中氮含量增幅分别是:PIN0处理为2.1%,12.1%,8.3%;PON1处理为2.2%,8.8%,9.9%;PON2处理为3.1%,14.6%,1.1%;PIN1处理为2.8%,6.9%,13.0%;PIN2处理为6.5%,15.9%,-3.0%。不同处理拔节期、灌浆期、成熟期茎秆中氮含量增幅分别是:PIN0处理为7.6%,14.9%,19.1%;PON1处理为12.3%,11.2%,17.2%;PON2处理为14.2%,14.1%,15.0%;PIN1处理为7.1%,23.8%,11.2%;PIN2处理为19.6%,36.8%,15.3%。成熟期各处理籽粒中氮含量也较对照有所提高,增幅大小为:PIN2(4.8%)>PON2>(3.9%)>PON1(3.7%)>PIN1(3.3%)>PIN0(3.2%)。

冬小麦地上部磷含量的变化总趋势与其氮含量变化相似(表1)。茎秆和叶片中磷含量随生长期的延续只在拔节期稍有升高后呈下降趋势,且在灌浆期后迅速下降。结果表明PJG、氮肥或两者配施均能促进植株对磷的吸收。不同处理拔节、灌浆、成熟期叶片中磷含量增幅分别为:PIN0处理为15.2%,2.5%,6.4%;PON1处理为3.0%,4.7%,16.6%;PON2处理为4.0%,14.2%,13.2%;PIN1处理为8.4%,7.3%,7.0%;PIN2处理为9.7%,10.6%,18.4%。不同处理拔节期、灌浆期、成熟期茎秆中磷含量增幅分别是:PIN0处理为10.2%,25.2%,11.8%;PON1处理为7.3%,24.5%,31.4%;PON2处理为11.2%,34.3%,43.2%;PIN1处理为5.1%,24.4%,19.2%;PIN2处理为12.6%,36.1%,23.0%。成熟期各处理籽粒中磷含量增幅大小为:PIN2(6.3%)>PIN1(4.5%)>PIN0(3.4%)>PON2(2.1%)>PON1(1.2%)。

冬小麦地上部钾含量与氮、磷含量的变化趋势不同(表1)。整个生长期内,叶片中钾的含量变化不大,茎秆中在灌浆期后又有所上升,籽粒中钾含量较低(0.327%~0.371%)。从表1还可看出,氮肥与PJG配施能增加小麦叶片中的钾含量,但对茎秆和籽粒中钾含量作用不明显。

2.4 冬小麦不同生长期地上部氮、磷养分累积吸收特点

2.4.1 不同生长期冬小麦地上部对氮素累积吸收特点

养分的吸收、同化与转运直接影响着植物的生长和发育,从而影响着作物产量及质量。由冬小麦不同生长期地上部各植株器官对氮素的累积吸收(表2)可以看出:随生长期的延续,植株各器官对氮的吸收先逐渐增加,后期氮累积量略有所下降。植株苗期吸氮量相对较少,氮累积量仅为96.92~115.44 kg/hm²。拔节期叶片中的氮累积量占植株总累积量的60%~63%;拔节至灌浆期,叶片中的氮累积量已在下降(占总累积量30%~37%),开始向籽粒中转移,而茎秆继续加强对氮的吸收(38%~42%),这是由于在此期间茎秆的干物质占冬小麦地上干物质总量的比例较大(49%~55%)。灌浆期至成熟期,茎秆中氮累积量也开始迅速下降,说明从灌浆期以后,营养体吸收的氮养分量小于其向籽粒中转移

量,冬小麦进入生殖生长阶段,其仍需要吸收大量的氮素,此时籽粒中的氮累积量急剧上升,到成熟期氮素的累积量达到整个生长期最高值(占总累积量 72%~75%)。由此可知,拔节期和灌浆期是氮累积的两个高峰期,分别占全生长期平均氮累积量的 31.5%和 25%。

冬小麦不同生长期氮素累积量在施氮和施加 PJG 土壤改良剂后各处理间存在着不同程度的差异(表 2),且均比对照高。冬小麦苗期各处理氮累积量较对照增幅由大到小为:PON2(19.5%)>PIN0(17.8%)>PON1(15.7%)>PIN2(14.0%)>PIN1(13.4%);拔节期各处理中叶片和茎秆中氮累积量较对照增加量最高的为 PIN2 处理,分别增加 75.76 kg/hm² 和 48.65 kg/hm²,其次为 PON2 处理,PIN0 和 PON1 处理与对照无显著差异;灌浆期各处理叶片和茎秆中的氮累积量较对照增加的幅度比拔节期低,且相对增长的趋势与拔节期相似,籽粒中较对照增加较多,增量分别为:PIN2 为 40.53 kg/hm²,PON2 为 20.43 kg/hm²,PIN1 为 18.86 kg/hm²,PIN0 为 14.00 kg/hm²,PON1 为 8.61 kg/hm²);成熟期 PIN2 处理籽粒中氮累积量较对照增加最高(增幅为 16%),其次为 PON2 处理(10%),其余处理较对照稍有增加且之间无显著差异。

籽粒中吸收的总养分,一部分来源于根系吸收的养分直接输送,另一部分来源于营养体养分的再转移。养分的转运量和转运效率,是营养体养分向籽粒转移量的重要指标^[13,14]。由表 2 可知,各处理叶片对氮素的转运量小于茎秆的。与对照相比,PIN2 处理转运量最大,叶和茎分别增加 26.77,42.49 kg/hm²,其次是 PON2 处理,PIN0 和 PON1 两处理较对照有所增加,但其之间无显著差异。从转运率来看,各处理依然是叶片中的较茎秆中的低,分别为 38.09%~59.74%,63.16%~73.40%;成熟期不同处理叶的转运率较对照有所上升,而茎秆中的氮转运率反而比对照有所下降,可能是因为处理后冬小麦地上部干物质有所增加,提高了其对养分的累积量,但和养分的吸收速率没有成正比的提高。

由以上可知,施加 PJG 及其与氮肥配施,增加了植株地上部氮累积量,以及其对氮素的转运量,提高了籽粒中的氮累积量,并表现出 PJG 与高氮肥配施的效果最好,单施 PJG 和低氮肥两处理无显著差异,进一步说明 PJG 土壤改良剂能有效提高土壤肥力,促进作物生长和提高籽粒产量。

2.4.2 不同生长期冬小麦地上部对磷累积吸收特点 冬小麦地上部对磷素的累积吸收与氮素的相似,叶和茎表现出先增加后下降的趋势,但植株吸收总量比氮素小得多。磷总累积量在灌浆期后增加不明显,而植株籽粒中磷累积量迅速上升,说明生长后期磷主要是从茎叶中向籽粒中转移,减弱了植株对土壤中磷素的吸收。不同生长期冬小麦叶片和茎秆中对磷素的累积吸收与氮素累积吸收的特点亦基本相似,形成了拔节和灌浆期这两个累积高峰。

冬小麦不同生长期对磷素累积与吸收情况因处理不同而异(表 3)。苗期茎叶中对磷的累积较对照增幅分别为:PON2(16.1%)>PIN0(12.6%)>PON1(10.9%)>PIN1(8.9%)>PIN2(8.6%);拔节期各处理中叶片和茎秆中磷累积量较对照增加量最高的为 PIN2 处理,分别增加 6.78 kg/hm² 和 6.66 kg/hm²,其次为 PON2 处理,

表 2 冬小麦不同生长期地上部氮累积吸收量

处理	植株器官	各生长期 N 累积量/(kg·hm ⁻²)				转运量/(kg·hm ⁻²)	转运率/%
		苗期	拔节期	灌浆期	成熟期		
PIN1	叶	109.57	123.61	85.03	52.64	32.39	38.09
	茎	-	73.74	115.44	30.71	84.73	73.40
	籽粒	-	-	71.43	212.90	-	-
	总累积量	109.57	197.34	271.90	296.26	-	-
PIN2	叶	110.14	174.94	100.98	35.86	65.12	64.49
	茎	-	105.53	140.85	41.30	99.55	70.68
	籽粒	-	-	93.09	230.89	-	-
	总累积量	110.14	280.48	334.92	308.05	-	-
CK	叶	96.92	99.18	72.74	34.39	38.35	52.73
	茎	-	56.88	89.07	22.01	57.06	72.16
	籽粒	-	-	52.57	199.66	-	-
	总累积量	96.92	156.07	214.38	256.07	-	-
PIN0	叶	113.83	102.45	86.04	34.64	51.40	59.74
	茎	-	66.33	96.39	35.38	61.01	63.30
	籽粒	-	-	66.57	202.95	-	-
	总累积量	113.83	168.78	248.99	272.96	-	-
PON1	叶	111.80	113.92	95.36	43.33	52.04	54.57
	茎	-	69.52	101.98	37.57	64.41	63.16
	籽粒	-	-	61.17	213.51	-	-
	总累积量	111.80	183.43	258.52	294.40	-	-
PON2	叶	115.44	141.95	110.58	46.69	63.90	57.78
	茎	-	90.95	114.60	38.72	75.88	66.21
	籽粒	-	-	73.00	220.16	-	-
	总累积量	115.44	232.90	298.18	305.56	-	-

注:养分转运量(kg/hm²)=灌浆前营养体养分的总吸收量(kg/hm²)-成熟期营养体养分的总吸收量(kg/hm²);转运效率(%)=养分转运量/灌浆前营养体养分的吸收量×100

分别增加 3.70, 4.96 kg/hm², P0N1 比 P1N0 处理较对照增加的稍多;灌浆期各处理茎秆对磷的累积较对照增加仍很高,而叶中的稍高于对照,籽粒中磷累积量较对照增加较多,增量分别为 P1N2 为 7.19 kg/hm², P0N2 为 4.41 kg/hm², P1N1 为 3.96 kg/hm², P1N0 为 3.01 kg/hm², P0N1 为 1.88 kg/hm²;成熟期各处理籽粒中磷累积量较对照增量分别为: P1N2 为 5.60 kg/hm², P0N2 为 2.90 kg/hm², P1N1 为 2.23 kg/hm², P0N1 为 1.23 kg/hm², P1N0 为 0.52 kg/hm²。由表 2 可知,各处理叶片对磷素的转运量远小于茎秆的。与对照相比,叶片转运量最高为 P0N2 处理(5.54 kg/hm²), P1N2 处理(5.00 kg/hm²)次之,其他处理基本与对照持平;各处理茎秆的转运量较对照相比与叶中相似。从转运率来看,各处理依然是叶片中的较茎秆中的低,分别为 47.49%~61.09%, 83.17%~87.29%。由此可知, PJG 及其与氮肥配施,增加了植株地上部磷素累积量及其对磷素的转运量,提高了籽粒中磷的累积量。表现出 PJG 与高氮肥配施的效果最好,单施 PJG 和低氮肥两处理无显著差异。

3 结论

(1) 在供试土壤条件下,施加 PJG 土壤改良剂能提高冬小麦产量和千粒重,且与氮肥配施时效果更佳,最高增产 9.96%,表现出与氮肥的交互作用明显。

(2) 冬小麦整个生长期其干物质累积曲线呈“S”型,不同生长期累积比例基本一致,拔节和灌浆期是两个累积高峰。PJG 能显著增加冬小麦各生长期的地上干物质的累积量,单施可提高 8.4%,而与氮肥配施可提高 37.8%。

(3) 冬小麦地上部叶和茎中氮磷含量随生长期的延续呈下降趋势,籽粒呈上升趋势,钾含量变化与其相反,成熟时大量贮存于茎秆中,并未转入籽粒中。不论是 PJG 土壤改良剂和氮肥单施还是两者配施,均能显著提高氮、磷在茎叶和籽粒中的含量,在灌浆期提高幅度最大,且单施 PJG 处理比低氮处理促进作用较好,其与氮肥配施效果更加显著,但各处理对钾含量的影响不明显。

(4) 冬小麦随生长期延续,对氮、磷累积量呈先逐渐增加后略有下降趋势。叶片对氮、磷素的转运量和转运效率均小于茎秆。PJG 土壤改良剂与氮肥配施后能显著提高冬小麦茎叶和籽粒对氮、磷素的累积吸收量。

由此可见, PJG 土壤改良剂能促进作物生长,并增加其对氮、磷养分的吸收,提高作物产量,与氮肥配施效果更好。长期使用以秸秆为材料的 PJG 土壤改良剂及与氮肥配施的最佳用量有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 山仑. 节水农业的研究与实施[J]. 中国科学院院刊, 1996, 11(6): 430-435.
- [2] Deng X P, Shan L, Inanaga S. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China[J]. Agricultural Sciences in China, 2003, 2(1): 35-44.
- [3] 张黎明, 邓万刚. 土壤改良剂的研究与应用现状[J]. 华南热带农业大学学报, 2005, 11(2): 32-34.
- [4] 窦玉清, 许立峰, 王树声, 等. 土壤结构改良剂研究现状及在烟草上的应用展望[J]. 中国烟草科学, 1999(3): 33-36.

表 3 冬小麦不同生长期地上部磷累积吸收量

处理	植株器官	各生长期 P 累积量/(kg·hm ⁻²)				转运量/(kg·hm ⁻²)	转运率/%
		苗期	拔节期	灌浆期	成熟期		
P1N1	叶	7.39	10.91	7.47	3.92	3.55	47.49
	茎	-	11.34	17.20	2.23	14.97	87.05
	籽粒	-	-	12.03	30.51	-	-
	总累积量	7.39	22.26	36.70	36.66	-	-
P1N2	叶	7.38	15.09	8.44	3.44	5.00	59.29
	茎	-	15.58	20.77	2.98	17.79	85.65
	籽粒	-	-	15.26	33.88	-	-
	总累积量	7.38	30.67	44.48	40.30	-	-
CK	叶	6.79	8.31	6.37	2.71	3.66	57.48
	茎	-	8.91	11.72	1.49	10.23	87.29
	籽粒	-	-	8.08	28.28	-	-
	总累积量	6.79	17.22	26.17	32.48	-	-
P1N0	叶	7.65	9.68	6.89	2.68	4.21	61.09
	茎	-	10.65	15.58	2.20	13.37	85.86
	籽粒	-	-	11.08	28.80	-	-
	总累积量	7.65	20.33	33.55	33.68	-	-
P0N1	叶	7.54	9.61	8.03	3.62	4.41	54.93
	茎	-	10.40	16.94	2.85	14.09	83.17
	籽粒	-	-	9.95	29.51	-	-
	总累积量	7.54	20.01	34.92	35.98	-	-
P0N2	叶	7.88	12.00	9.65	4.12	5.54	57.36
	茎	-	13.88	20.01	3.26	16.75	83.69
	籽粒	-	-	12.49	31.18	-	-
	总累积量	7.88	25.88	42.15	38.57	-	-

注:养分转运量(kg/hm²) = 灌浆前营养体养分的总吸收量(kg/hm²) - 成熟期营养体养分的总吸收量(kg/hm²); 转运效率(%) = 养分转运量/灌浆前营养体养分的吸收量 × 100

(4) 旱柳对石墨尾矿基质养分状况的综合改善效果最好,胡枝子、樟子松、山杨的改善效果较好。胡枝子对降低石墨尾矿废弃地基质重金属污染效果最好,旱柳、大果沙棘、樟子松效果较好。因此,采用旱柳、胡枝子与樟子松或山杨、大果沙棘混交造林,可以同时达到改善基质养分状况,降低基质重金属元素污染程度的双重作用,可以作为石墨尾矿废弃地植被修复的一种优选模式。

参考文献:

- [1] 白建峰,史永红,崔龙鹏,等. 煤矸石堆积对矿区土壤中重金属的影响[J]. 安徽理工大学学报,2004,24(5):10-15.
- [2] 廖国礼,吴超,冯巨恩. 矿坑废水污灌区河流重金属离子污染综合评价实践[J]. 矿冶,2004,13(1):86-90.
- [3] 龙新尧,杨肖娥. 重金属污染植物修复技术研究的现状与展望[J]. 应用生态学报,2002,13(6):757-762.
- [4] 舒俭民,刘连贵,张岱松,等. 石墨矿废弃地生态复垦研究[J]. 中国环境科学,1996,3:36-40.
- [5] 李献智,张润儒,高德武,等. 石墨尾矿植被快速恢复与重建研究[J]. 黑龙江水利科技,2007,35(3):43-47.
- [6] 王晓春,蔡体久,谷金锋. 鸡西煤矿矸石山植被自然恢复规律及其环境解释[J]. 生态学报,2007,27(9):35-37.
- [7] 王笑峰,蔡体久,龚文峰,等. 鸡西矿区矸石山基质改良研究[J]. 水土保持学报,2008,22(5):134-137.
- [8] 中国标准出版社. 森林土壤分析方法[M]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [9] 王薇,张思冲,叶华香. 砂金开采区土壤重金属污染评价[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2006,22(4):85-88.
- [10] 雍森. 环境评价(第二版)[M]. 上海:同济大学出版社,1991.
- [11] 王军,徐晓春,陈芳. 铜陵林冲尾矿库复垦土壤的重金属污染评价[J]. 合肥工业大学学报,2005,2:142-145.
- [12] 国家环境保护局科技标准司. 中华人民共和国土壤环境质量标准(GB15618-1995)[S]. 北京:中国标准出版社,1995.

责任编辑:李鸣雷 刘 英

上接第 81 页

- [4] 殷云龙,宋静,骆永明,等. 南京市城乡公路绿地土壤重金属变化及其评价[J]. 土壤学报,2005,42(2):206-209.
- [5] 朱建军,崔保山,杨志峰,等. 纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[J]. 生态学报,2006,26(2):146-153.
- [6] 蔡志全,阮宏华,叶镜中. 栓皮栎林对城郊重金属元素的吸收和积累[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2001,25(1):18-22.
- [7] 刘维涛,张银龙,陈喆敏,等. 矿区绿化树木对镉和锌的吸收与分布[J]. 应用生态学报,2008,19(4):752-756.
- [8] 李国栋,王志刚,袁玉欣,等. 保定市城市森林结构特征分析[J]. 河北农业大学学报,2007,30(5):51-56.
- [9] 魏复盛. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.
- [10] Fayiga A, Ma L. Arsenic uptake by two hyper accumulator ferns from four arsenic contaminated soil[J]. Water Air and Soil Pollution,2005,168(1/4):71-89.
- [11] 周启星,宋玉芳. 污染土壤修复的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [12] 杨学军,唐东芹,许东新,等. 上海地区绿化树种重金属污染防治特性的研究[J]. 应用生态学报,2004,15(4):687-690.
- [13] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [14] Felix H. Field trials of the in situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metals accumulating plants[J]. Zeitschrift fur Pflanzenernahrung and Bodenkunde,1997,160:525-529.

责任编辑:付会芳

上接第 101 页

- [5] 牛花朋,李胜荣,申俊峰,等. 粉煤灰与若干有机固体废弃物配施改良土壤的研究进展[J]. 地球与环境,2006,34(2):27-34.
- [6] 乔显亮,骆永明,吴胜春. 污泥的土地利用及其环境影响[J]. 土壤,2000(2):79-85.
- [7] Sara E. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek[J]. Applied Soil Ecology,2006,11(1):70-82.
- [8] 董英,郭绍辉,詹亚力. 聚丙烯酰胺的土壤改良效应[J]. 高分子通报,2004(5):83-87.
- [9] 员学锋,吴普特,冯浩. 聚丙烯酰胺(PAM)的改土及增产效应[J]. 水土保持研究,2002,9(2):55-58.
- [10] 陈琼贤,郭和蓉,彭志平. 营养型土壤改良剂对玉米的增产效果和对土壤肥力的影响[J]. 土壤通报,2005,36(3):463-464.
- [11] 许晓平,冯浩,赵西宁,等. 土壤改良剂与氮肥配施对玉米生长及其养分含量影响[J]. 西北农业学报,2008,17(3):139-142.
- [12] 张燕,冯浩,汪有科,等. 新型土壤结构改良剂水分特性及其对玉米苗期的影响研究[J]. 节水灌溉,2008(5):6-9.
- [13] 宁堂原,焦念元,李增嘉,等. 施氮水平对不同种植制度下玉米氮利用及产量和品质的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(12):2332-2336.
- [14] 潘庆民,于振文,王月福,等. 公顷产 9 000 kg 小麦氮素吸收分配的研究[J]. 作物学报,1999,25(5):541-547.

责任编辑:付会芳