植物营养与肥料学报 2008,14(6):1212-1218
Plant Nutrition and Fertilizer Science

玉米鲜样氮磷联合诊断方法和测定部位研究

王林学[1],杨 义[2],刘帮银[3],杨丽军[3],杨剑虹[4*]
(1 重庆市渝北区土壤肥料站,重庆渝北 401120;2 南充农产品质量监测检验中心,四川南充 637000;
3 重庆市合川区农技站,重庆合川 401519;4 西南大学资源环境学院,重庆北碚 400716)

摘要:采用"3414"氮磷二元二次肥料试验方案设计田间小区试验,应用便携式高强度光度计对玉米鲜样第三、第六位叶肉和叶鞘硝态氮、铵态氮及可提取磷进行田间现场快速联合测定。结果表明,同一叶位叶肉与叶鞘之间硝态氮、铵态氮及可提取磷含量差异很大,经 t 检验,差异均达极显著水平。不同叶位相同部分氮、磷元素含量也有一定差异,经 t 检验,第三位与第六位叶肉硝态氮、铵态氮和叶鞘铵态氮的含量差异不显著,而叶肉和叶鞘可提取磷、叶鞘硝态氮的含量差异均达极显著水平;不同叶位各部分对应的硝态氮、铵态氮与施氮量和全氮呈正相关;可提取磷与施磷量和全磷也呈正相关关系,且第三位叶鞘相关性最好,均达极显著水平,该部位具有作为氮、磷营养状况诊断部位的可能性。硝态氮从反映土壤氮素水平和试剂成本上比铵态氮更适合作为诊断玉米植株氮营养状况的指标。

关键词:玉米;硝态氮;铵态氮;可提取磷;联合诊断;测定部位
中图分类号:S513;S126　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2008)06-1212-07

Study on measuring parts and combined diagnosis methods for N and P of fresh corn

WANG Li-xue[1], YANG Yi[2], LIU Bang-yin[3], YANG Li-jun[3], YANG Jian-hong[4*]
(*1 Soil-Fertilizer Station of Yubei, Yubei, Chongqing 401120, China; 2 Monitoring Center of Agricultural Products Quality, Nanchong, Sichuan 637000, China; 3 Agricultural-Extension Station of Hechuan, Hechuan, Chongqing 401519, China; 4 College of Resources and Environment, Southwest University, Beibei, Chongqing 400716, China*)

Abstract: The "3414" field experiment on nitrogen and phosphorus fertilization were carried out in a corn field in Chongqing, China. Nitrate-nitrogen, ammonium-nitrogen and extractable phosphorus of leaves and sheaths at the third and sixth places of fresh corn were determined rapidly by using a portable high-strength photometer at the sites. The results indicate that there are significant differences between nitrate-N, ammonium-N and extractable P contents of leaves at the same place and those of sheaths, respectively. The differences between the N and P contents of leaves at the same part of the different places are not accordant. The differences of nitrate-nitrogen, ammonium-nitrogen of leaves and ammonium-nitrogen of sheaths between the third place and the sixth place are not significant. While the differences of extractable phosphorus of leaves and sheaths and nitrate-N of sheaths between the third place and the sixth place are all at 1% significant levels. Nitrate-nitrogen, and ammonium-nitrogen of every part of leaves at the different places are positively correlated with the N application rate and total N, respectively. At the same time, extractable phosphorus of every leaf part at the different places is positively correlated with the P application rate and total P. And the relativity of sheaths at the third place is the best, and all the correlations are at 1% significant levels. The optimal part for determining nitrate-N, ammonium-N and extractable P at the same time is sheaths at the third place. Nitrate-N is better than ammonium-N to diagnose nitrogen nutrition of corn from theregent costand content level of soil nitrogen.

Key words: corn; nitrate-nitrogen; ammonium-nitrogen; extractable phosphorus; combined diagnosis; measure parts

收稿日期:2007-12-10　　**接受日期**:2008-06-24
作者简介:王林学(1982—),女,重庆人,硕士研究生,主要从事土壤化学研究。E-mail:wanglinxue19820221@163.com
* **通讯作者** Tel:023-68251327, E-mail:yjh@swau.edu.cn

植株样品中氮、磷、钾等养分的测定一般以田间采集植株样品，在实验室内经烘干（或风干）、磨细后进行分析，不仅耗费时间，增加预处理的工作量，且时效性差，不利于数据的及时应用。由于作物对养分的吸收表现出时段性变化[1]，常规测定植株氮、磷、钾的方法不能快捷准确地反映作物的养分状况。田间条件下快速确定作物氮、磷、钾营养状况一直是作物营养诊断研究的重点及难点，国外应用较为广泛的植株体内硝态氮快速测定方法是二苯胺法和反射仪法，Whermann 等[2] 1981 年采用改良二苯胺法测定冬小麦茎基部 NO_3^--N 含量，Geryer 等[3] 1990 年提出了用反射仪测定植株硝酸盐含量来诊断田间玉米氮营养状况。近年来，无损测试技术在作物氮营养诊断及氮肥推荐施肥中得到了广泛的关注，被认为是极有发展前途的作物营养诊断技术，在研究和实际应用中都已取得了很大进展[4]。李志宏等[5]利用叶绿素仪来诊断夏玉米氮营养状况，且认为最佳测定部位为最上部完全展开叶的中部，而卢扬等[6]用 HACH DR/890 便携式高强度光度计对过磷酸钙中有效磷含量快速测定进行了研究，回收率为 90%～110%，操作方法简单，耗时不超过 35 min，适于现场样品快速检测，但是，这些方法测定元素单一，不能较全面反映作物营养状况。为此，本文通过“3414”氮、磷二元二次肥料田间试验，研究了应用便携式高强度光度计现场快速测定玉米鲜样第三位和第六位叶肉、叶鞘的铵态氮、硝态氮及可提取磷含量（该方法需时短，不超过 1 个小时），比较其含量与对应施肥量、全量的相关性，并确定了玉米氮、磷营养的形态及其最佳测定部位。

1　材料与方法

1.1　试验地基本情况

试验设在重庆市合川区高龙镇，该地处于亚热带湿润季风气候，年均温 18.1 ℃，年均降雨量 1107.9 mm，多集中于 7～9 月。供试土壤为中生代侏罗纪沙溪庙组发育的灰棕紫泥。有机质含量 18.9 g/kg、全氮 1.01 g/kg、碱解氮 86.0 mg/kg、有效磷（Olsen-P）8.27mg/kg、速效钾 97.1 mg/kg，pH 5.3。

1.2　试验设计

试验以潞玉 13 为供试玉米品种，本试验于 2007 年 3 月至 2007 年 8 月进行，种植密度为 60000 株/hm^2，行距 83 cm，窝距 40 cm，每窝 2 株。试验采用了“3414”氮、磷二元二次肥料试验方案设计，施肥处理及施肥量见表 1。磷肥作基肥一次性施入，氮、钾肥分三次施，基肥占 1/3，追肥占 2/3，追肥分别在拔节期、灌浆期施入。所用氮肥为尿素（N 46%），磷肥为过磷酸钙（P_2O_5 20%），钾肥为钾镁肥（K_2O 40%）。试验采用随机区组设计，三次重复，小区面积为 60 m^2。

表 1　试验设计及施肥处理

Table 1　Experiment design and fertilizer treatments

处理编号 Treatment number	“3414”处理编号 “3414” treatment number	处理 Treatment	氮 N (kg/hm^2)	磷 P_2O_5 (kg/hm^2)	钾 K_2O (kg/hm^2)
1	1	N0P0K0	0	0	0
2	2	N0P2K2	0	210	150
3	3	N1P2K2	150	210	150
4	4	N2P0K2	300	0	150
5	5	N2P1K2	300	105	150
6	6	N2P2K2	300	210	150
7	7	N2P3K2	300	315	150
8	11	N3P2K2	450	210	150
9	12	N1P1K2	150	105	150

1.3　样品采集方法

由于拔节期到灌浆期是氮素累积的高峰期，也是追肥的最佳时期，本试验在第一次施追肥前采集植株样品，采样在晴天早上 8:00～11:00 之间进行。采样时分别取距顶叶第三位和第六位叶片和叶鞘，每个处理取 10 株组成混合样品。样品洗净后，用无氮、磷吸水纸擦干，再按叶肉和叶鞘分开，切碎混匀。一部分直接在田间用于测定鲜样铵态氮、硝态氮和可提取磷含量，一部分带回实验室在 105℃鼓风干燥箱内烘 30 min，然后降温至 66℃，烘干，用常规方

法测定全氮和全磷。

1.4 主要仪器和试剂

测试仪器为便携式高强度光度计，型号为HACH DR/890。主要试剂为0.01 mol/L EDTA提取液，不含氮、磷的活性炭，氨试剂（AmVer稀释液，氨水杨酸试剂粉，氨氰尿酸试剂粉），硝态氮试剂（NitraVer 5硝酸盐试剂粉末），硫酸钼锑抗混合显色剂（用前新配）。其他试剂有2，4－二硝基酚，钒钼酸铵溶液，0.05 mol/L H_2SO_4，3 mol/L H_2SO_4，6 mol/L NaOH，1 mol/L NaOH，分析纯石英砂。

1.5 测定方法

1.5.1 玉米鲜样氮、磷的田间现场测定 取切碎混匀鲜样1.00 g于75 mL玻璃研钵中，从50 mL EDTA提取剂中取约5 mL和少许石英砂加入研钵中研磨，将剩余提取剂少量多次冲洗研钵内壁及研棒，全部无损转移至150 mL三角瓶中，加入1.0 g活性炭。摇匀，放置10 min后，干过滤于100 mL烧杯中（弃去前5 ml滤液），滤液备用（同时做一空白）。

硝态氮的测定：用移液管取2.00 mL滤液于25 mL刻度显色杯中，用纯水定容至10 mL，加入一包NitraVer 5硝酸盐试剂粉末，振摇1 min，显色5 min后测定。

铵态氮的测定：用移液管取2.00 mL滤液于一瓶AmVer稀释液中，依次加入一包氨水杨酸试剂粉和氨氰尿酸试剂粉，振摇至完全溶解，显色20 min后测定。

可提取磷的测定：用移液管取1.00 mL滤液于25 mL容量瓶中，加入2滴2，4－二硝基酚指示剂，用0.05 mol/L H_2SO_4调色至溶液黄色刚褪，准确加入2.5 mL硫酸钼锑抗混合显色剂，纯水定容、摇匀，显色20 min后测定。

1.5.2 玉米干样全氮、磷的室内测定 玉米干样全氮、磷的测定是用H_2SO_4－H_2O_2消煮，开氏法测全氮，钒钼黄比色法测全磷。

2 结果与讨论

2.1 不同处理对玉米不同叶位鲜叶叶肉与叶鞘中氮、磷浓度的影响

2.1.1 不同叶位鲜叶叶肉与叶鞘中硝态氮浓度的差异 植物对氮的吸收主要是铵态氮和硝态氮，根系从土壤吸收各种形态的氮素后，经维管组织、茎、鞘输送到地上部[7]，并在叶片中被转化利用。其中，硝态氮经茎、鞘进入叶片组织后，很快被叶片组织中的硝酸还原酶还原成铵态氮，并进一步转化成各种氨基酸。因此，单纯从硝态氮的角度，玉米茎、鞘和叶片组织（叶肉）中硝态氮水平必然存在差别，而茎、鞘中硝态氮更能反映植株对其吸收水平。从图1和图2结果看出，各处理不同叶位玉米叶鞘硝态氮含量均明显高于叶肉，经t检验达到极显著水平（$t_{3位}=4.20^{**}$，$t_{6位}=4.63^{**}$，$t_{0.05}=2.31$，$t_{0.01}=3.36$，n＝9），与王西娜等[8]、沈明珠等[9]在蔬菜中的研究结果相吻合。这表明测定玉米鲜样叶鞘中硝态氮含量优于叶肉或整个叶片。

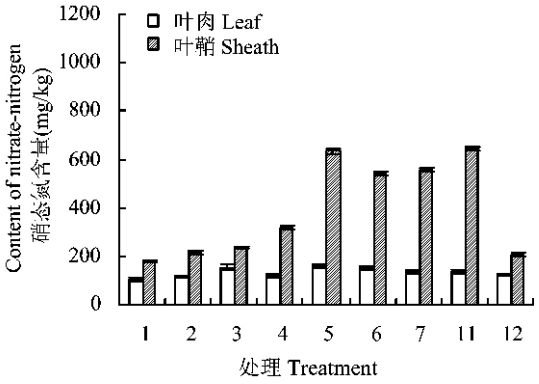

图1 不同处理第三位叶叶肉与叶鞘硝态氮含量

Fig.1 Contents of nitrate-nitrogen in leaves and sheaths at the third place in the different treatments

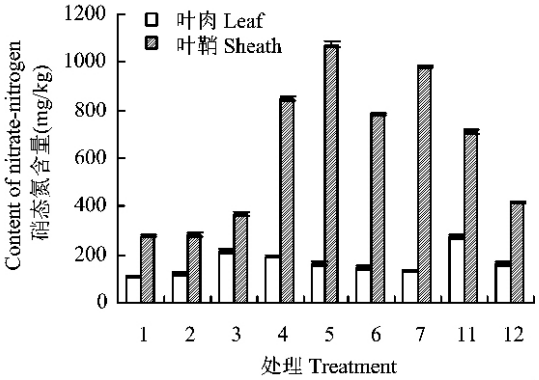

图2 不同处理第六位叶叶肉与叶鞘硝态氮含量

Fig.2 Contents of nitrate-nitrogen in leaves and sheaths at the sixth place in the different treatments

由于氮素在植株体内易于移动，尤其是硝态氮，因此，研究植株不同叶位硝态氮含量对了解植株氮营养状况是十分必要的。本研究测得玉米鲜样第三、第六位叶叶肉硝态氮含量分别在102～162 mg/kg和110～276 mg/kg之间，经t检验，差异不显著，t值为2.18（n＝9）。而第三、六位叶鞘硝态氮含量分别在179～646 mg/kg和276～1075 mg/kg之

间，差异达极显著水平，t 值为 4.12（n = 9）。结果表明，由于不同叶位叶肉中硝态氮含量差异不显著，无需考虑叶位对其的影响，而不同叶位叶鞘中硝态氮含量差异极显著，则对叶位的选择极其重要。

2.1.2　不同叶位鲜叶叶肉与叶鞘中铵态氮浓度的差异　从图 3 和图 4 可以看出，各处理不同叶位叶鞘铵态氮含量均明显低于叶肉，其差异极显著（$t_{3位}$ = 13.15**，$t_{6位}$ = 7.96**，$t_{0.01}$ = 3.36，n = 9），该结果与硝态氮含量趋势相反。玉米鲜样第三、第六位叶叶肉铵态氮含量分别在 44.7～64.3 mg/kg 和 39.5～78.0 mg/kg 之间，叶鞘铵态氮含量分别在 19.5～41.4 mg/kg 和 12.5～51.2 mg/kg 之间，但差异均不显著，t 值分别为 0.511 和 0.839（n = 9）。结果表明，测定玉米铵态氮的含量无需考虑叶位。

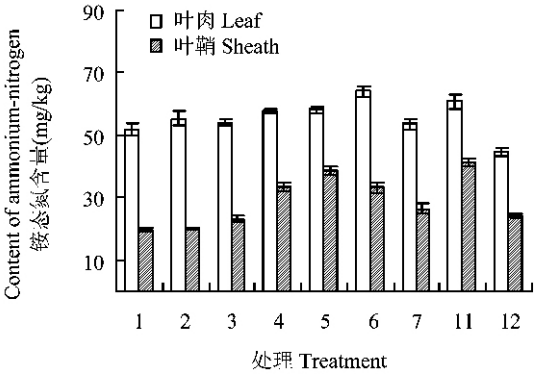

图 3　不同处理第三位叶叶肉与叶鞘铵态氮含量

Fig.3　Contents of ammonium-nitrogen in leaves and sheaths at the third place in the different treatments

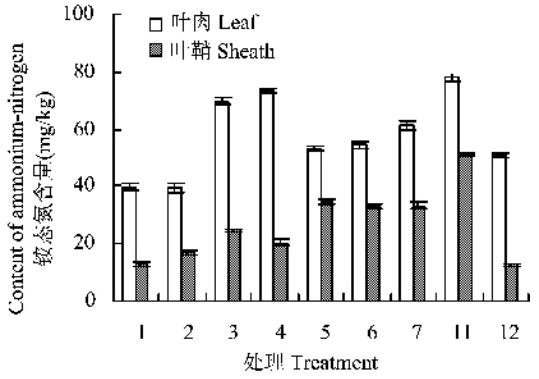

图 4　不同处理第六位叶叶肉与叶鞘铵态氮含量

Fig.4　Contents of ammonium-nitrogen in leaves and sheaths at the sixth place in the different treatments

2.1.3　不同叶位鲜叶叶肉与叶鞘中可提取磷浓度的差异　玉米叶肉和叶鞘可提取磷含量与铵态氮含量趋势一致（图 5、图 6），叶肉可提取磷含量极显著高于叶鞘（$t_{3位}$ = 10.2**，$t_{6位}$ = 6.07**，$t_{0.01}$ = 3.36，n = 9）。第三、第六位叶叶肉可提取磷含量分别在 0.230～0.400 g/kg 和 0.245～0.393 g/kg 之间，叶鞘可提取磷含量分别在 0.120～0.300 g/kg 和 0.0800～0.328 g/kg 之间，差异均达极显著水平，t 值分别为 8.38 和 6.92（n = 9）。结果说明，对玉米可提取磷的研究叶位的选择也非常重要。

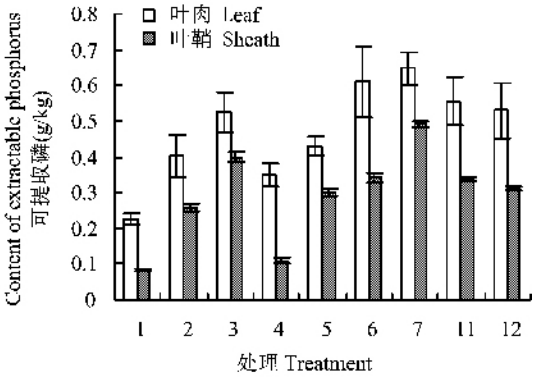

图 5　不同处理第三位叶叶肉与叶鞘可提取磷含量

Fig.5　Contents of extractable phosphorus in leaves and sheaths at the third place in the different treatments

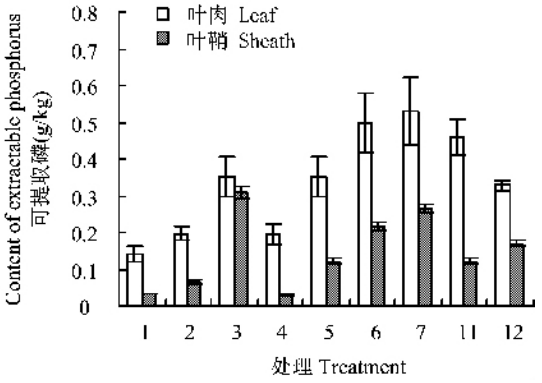

图 6　不同处理第六位叶叶肉与叶鞘可提取磷含量

Fig.6　Contents of extractable phosphorus in leaves and sheaths at the third place in the different treatments

2.2　玉米不同叶位叶肉和叶鞘氮、磷含量与施肥量的关系

2.2.1　不同叶位叶肉和叶鞘硝态氮与施氮量的关系　由于玉米自身不具备固氮能力，其生长发育所需的氮素主要依靠根系从土壤中吸收，但土壤中可利用的氮素往往难以满足其高产优质的需要[10]，以施肥的方式补充土壤氮素是其高产的有效措施。玉米不同叶位叶肉和叶鞘硝态氮含量与各处理施氮量

的关系见图7、图8。从图中可以看出，第三、第六位叶叶肉和叶鞘硝态氮含量与各处理施氮量均呈正相关，除了第三位叶叶肉相关性不显著外（$r_{3叶肉}$ = 0.392），

其他部位相关性均达极显著水平，相关系数分别为 $r_{3叶鞘}$ = 0.951**、$r_{6叶肉}$ = 0.725** 和 $r_{6叶鞘}$ = 0.883**（$r_{0.05}$ = 0.553，$r_{0.01}$ = 0.684，n = 12），且第三位叶叶鞘相关性最好。从图中可知，除了第三位叶叶鞘硝态氮含量随施氮量的增加显著增加外，其他部位硝态氮含量随施氮量的增加增幅均不明显，且在最大施氮量处反而含量有所降低。这表明，第三位叶叶鞘中硝态氮含量最能反映该时期的施氮肥情况。

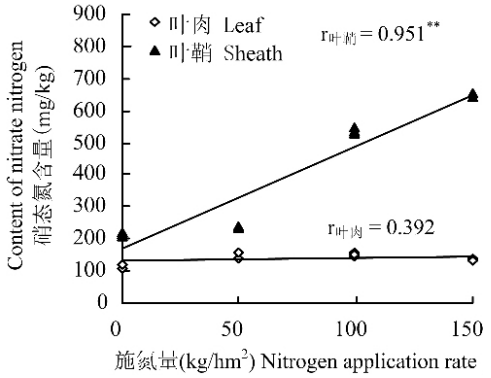

图7 第三位叶叶肉和叶鞘硝态氮含量与施氮量的相关性

Fig.7 Relation of nitrate-nitrogen in leaves and sheath at the third place and the nitrogen application rates

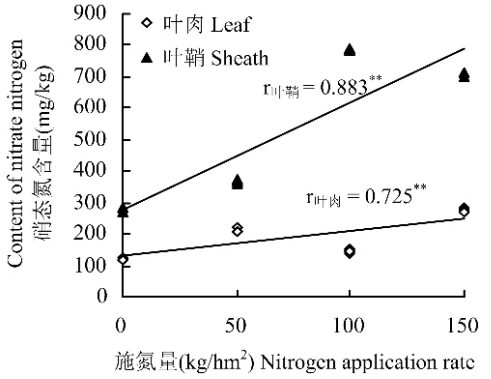

图8 第六位叶叶肉和叶鞘硝态氮含量与施氮量的相关性

Fig.8 Relation of nitrate-nitrogen in leaves and sheath at the sixth place and the nitrogen application rates

2.2.2 不同叶位叶肉和叶鞘铵态氮与施氮量的关系 玉米第三、第六位叶叶肉和叶鞘铵态氮含量与施氮量均呈正相关关系，除了第三位叶叶肉相关性未达极显著外（$r_{3叶肉}$ = 0.672*），其他部位相关性均达极显著水平，相关系数分别为 $r_{3叶鞘}$ = 0.974**、$r_{6叶肉}$ = 0.760** 和 $r_{6叶鞘}$ = 0.975**（n = 12），且叶鞘相关性最好（图9、图10），且从图中可知，除了第三位叶叶肉铵态氮含量随施氮量的增加增幅不明显且在最大施氮处反而有所降低外，其他部位铵态氮含量随施氮量的增加呈比例增加，且叶鞘最明显。说明玉米鲜样铵态氮的最佳测定部位是叶鞘。

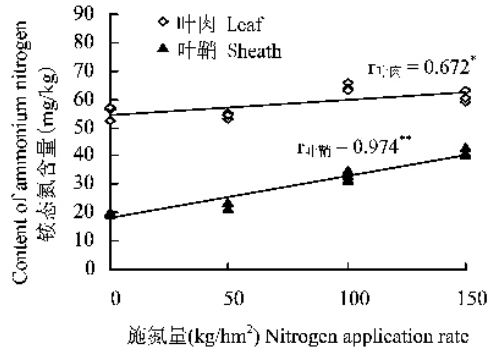

图9 第三位叶叶肉和叶鞘铵态氮含量与施氮量的相关性

Fig.9 Relation of ammonium-nitrogen in leaves and sheath at the third place and nitrogen application rate

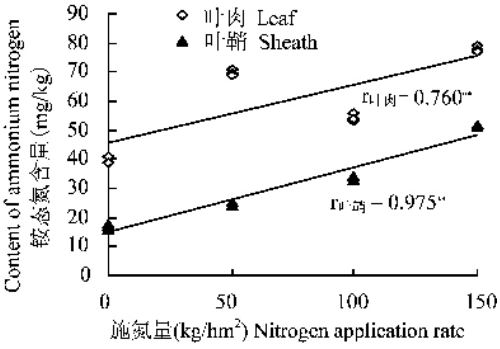

图10 第六位叶叶肉和叶鞘铵态氮含量与施氮量的相关性

Fig.10 Relation of ammonium-nitrogen in leaves and sheath at the sixth place and nitrogen application rate

2.2.3 不同叶位叶肉和叶鞘总氮与施氮量的关系 玉米第三、第六位叶叶肉和叶鞘总氮含量与施氮量呈正相关关系，同硝态氮和铵态氮与施氮量关系规律一致。除第三位叶叶肉总氮含量的相关性不显著外（$r_{3叶肉}$ = 0.522），其他部位总氮含量与施氮量的相关性均达显著水平，相关系数分别为 $r_{3叶鞘}$ = 0.953**、$r_{6叶肉}$ = 0.737* 和 $r_{6叶鞘}$ = 0.899**（n = 12），且第三位叶叶鞘相关性最好（图11、图12），且从图中可知，除了第三位叶叶肉总氮含量随施氮量

的增加增幅不明显外,其他部位总氮含量随施氮量的增加呈比例增加,且第三位叶叶鞘最明显。这表明,测定玉米鲜样总氮的最佳部位也是第三位叶鞘。各处理第三、第六位叶叶肉和叶鞘总氮含量均表现出第三位新叶低于第六位老叶,这与硝态氮的趋势一致,表明该时期土壤的供肥能力已能满足玉米的需氮量。

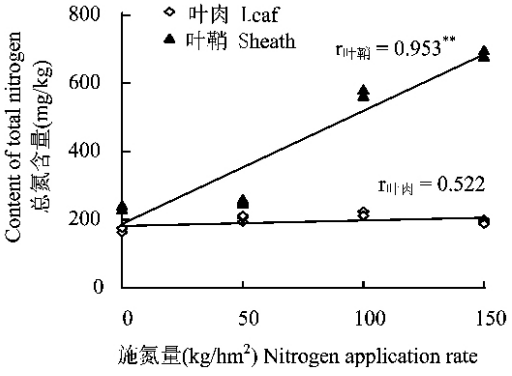

图 11　第三位叶叶肉和叶鞘总氮含量与施氮量的相关性

Fig.11　Relation of total nitrogen in leaves and sheath at the third place and nitrogen application rate

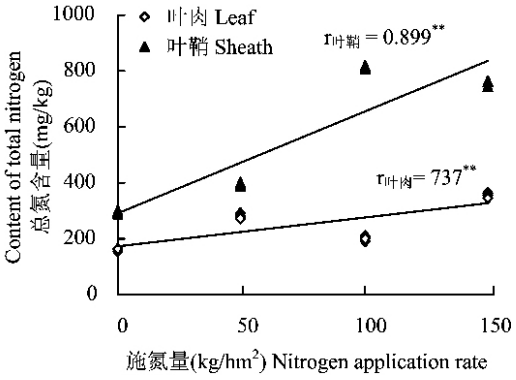

图 12　第六位叶叶肉和叶鞘总氮含量与施氮量的相关性

Fig.12　Relation of total nitrogen in leaves and sheath at the sixth place and nitrogen application rate

2.2.4　不同叶位叶肉和叶鞘可提取磷与施磷量的关系　玉米第三、第六位叶叶肉和叶鞘可提取磷含量与施磷量的关系见图 13、图 14。从图中可以看出,不同叶位的叶肉和叶鞘可提取磷含量与施磷量呈极显著正相关,相关系数分别为 $r_{3叶肉} = 0.907^{**}$、$r_{3叶鞘} = 0.973^{**}$、$r_{6叶肉} = 0.894^{**}$ 和 $r_{6叶鞘} = 0.989^{**}$,且叶鞘相关性最好。表明测定玉米鲜样可提取磷的最佳部位同样是叶鞘。

从图中还可看出,在同一施磷量条件下,可提取磷含量有一定差异,其原因可能是由于氮肥用量的不同造成的。

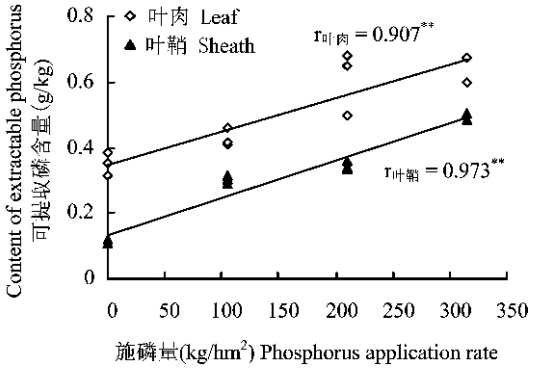

图 13　第三位叶叶肉和叶鞘可提取磷含量与施磷量的相关性

Fig.13　Relation of extractable phosphorus in leaves and sheath at the third place and phosphorus application rate

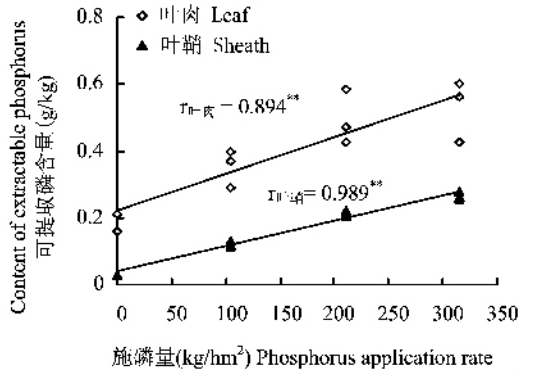

图 14　第六位叶叶肉和叶鞘可提取磷含量与施磷量的相关性

Fig.14　Relation of extractable phosphorus in leaves and sheath at the sixth place and phosphorus application rate

2.3　玉米叶肉和叶鞘氮、磷含量分别与全氮、全磷的关系

2.3.1　玉米叶肉和叶鞘硝态氮含量与全氮的关系

各处理不同叶位各部位的硝态氮与全氮含量呈显著正相关,相关系数分别为 $r_{3叶肉} = 0.701^{*}$、$r_{3叶鞘} = 0.839^{**}$、$r_{6叶肉} = 0.690^{*}$ 和 $r_{6叶鞘} = 0.898^{**}$ ($r_{0.05} = 0.632$, $r_{0.01} = 0.765$, $n = 9$),且第三、第六位叶鞘硝态氮含量与全氮含量相关性达极显著水平。这表明,玉米鲜样硝态氮的最佳测定部位是各叶位的叶鞘。

2.3.2　玉米叶肉和叶鞘铵态氮含量与全氮的关系

各处理不同叶位铵态氮和全氮的含量均表现出叶肉高于叶鞘,全氮与铵态氮含量之间呈极显著正相关,相关系数为分别为 $r_{3位} = 0.940^{**}$, $r_{6位} = 0.879^{**}$ ($n = 18$)。且不同叶位各部位的铵态氮与

全氮含量也呈正相关，除了第三位叶叶肉的相关性不显著外（$r_{3叶肉}=0.582$），其他部位相关性均显著，相关系数分别为 $r_{3叶鞘}=0.892^{**}$、$r_{6叶肉}=0.711^{*}$ 和 $r_{6叶鞘}=0.655^{*}$，且第三位叶叶鞘相关性最好，达极显著水平（$n=9$）。说明玉米鲜样铵态氮的最佳测定部位是第三位叶的叶鞘。

2.3.3 玉米叶肉和叶鞘可提取磷含量与全磷的关系 从测定结果可知，第三、第六位叶叶肉的可提取磷和全磷含量均高于叶鞘，全磷与可提取磷含量呈极显著正相关，相关系数为分别为 $r_{3位}=0.932^{**}$，$r_{6位}=0.903^{**}$（$n=18$）。不同叶位各部位可提取磷含量与全磷含量均呈正相关，除了第六位叶叶肉的可提取磷含量与全磷含量相关性不显著外（$r_{6叶肉}=0.509$），其他部位相关性都达显著水平，相关系数分别为 $r_{3叶肉}=0.668^{*}$、$r_{3叶鞘}=0.807^{**}$ 和 $r_{6叶鞘}=0.851^{**}$（$n=9$），且叶鞘可提取磷含量与全磷含量相关性极显著。这表明玉米鲜样可提取磷的最佳测定部位是各叶位的叶鞘。

3 结论

1）应用便携式高强度光度计对玉米鲜样第三、第六位叶叶肉和叶鞘硝态氮、铵态氮及可提取磷进行田间现场快速联合测定，不同叶位相同部位的硝态氮、铵态氮和可提取磷含量存在差异；第三位与第六位叶叶肉硝态氮、铵态氮和叶鞘铵态氮的含量差异不显著，而叶肉和叶鞘可提取磷、叶鞘硝态氮的含量差异显著。同时，同一叶位叶叶肉和叶鞘之间硝态氮、铵态氮和可提取磷含量也存在极显著差异。

2）不同叶位各部位硝态氮、铵态氮与全氮和施氮量及可提取磷与全磷和施磷量的相关性分析表明，距顶叶第三位叶叶鞘的相关性较其他部位好，因而，用此方法对玉米第三位叶鞘部位氮、磷进行测定，有可能作为玉米生长过程中氮、磷营养状况的诊断方法。

3）本试验选取硝态氮和铵态氮作为玉米氮素测定的指标并进行了比较分析。相比之下，测定硝态氮的价格更经济实惠，另外，硝态氮也是大多数植物从土壤中吸收氮素的主要形态，能比较准确地反映土壤氮素水平，而且植株中硝态氮累积是旱作植物的共性[11,12]，所以本研究认为，可选用测定硝态氮含量来诊断玉米植株的氮营养状况，并以此作为推荐追施氮肥的参考依据。

参考文献：

[1] 宋海星，李生秀．玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J]．中国农业科学，2003，36(1)：71-76.
Song H X，Li S X. Dynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and N supply conditions[J]. Sci. Agric. Sin.，2003，36(1)：71-76.

[2] Wehrmann J，Scharpf H C，Boehmer M，Wollring J. Determination of nitrogen fertilizer requirements by nitrate analysis of the soil and the plant[A]. In：Boehmer M(eds.). Proceedings of the 9th International Plant Nutrition Colloquium. 1982. 202-208.

[3] Geryer B，Marshner H. Charackeriserung des Stickstoffresorgungsgrades bei Mais mit Hilfe des Nittrat-schnelltests[J]. Z. Pflanzenernahr Boden，1990，153：341-348.

[4] 贾良良，陈新平，张福锁．作物氮营养诊断的无损测试技术[J]．世界农业，2001，(6)(总266)：36-37.
Jia L L，Chen X P，Zhang F S. The anti-damage testing technology of diagnosing nitrogen nutrition in the crop[J]. World Agric.，2001，(6)(Total 266)：36-37.

[5] 李志宏，张云贵，刘宏斌，张福锁．叶绿素仪在夏玉米氮营养诊断中的应用[J]．植物营养与肥料学报，2005，11(6)：764-768.
Li Z H，Zhang Y G，Liu H B，Zhang F S. Application of chlorophyll meter on N nutritional diagnosis for summer corn[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2005，11(6)：764-768.

[6] 卢扬，唐绪全，杨静，等．过磷酸钙中有效磷含量快速测定方法研究[J]．西南农业大学学报(自然科学版)，2006，28(2)：223-226.
Lu Y，Tang X Q，Yang J *et al*. Quick determination of available phosphorus in calcium superphosphate[J]. J. Southwest Agric. Univ.，2006，28(2)：223-226.

[7] 王永军，王空军，董树亭，等．施氮对墨西哥玉米植株硝态氮累积及产量的影响[J]．作物学报，2006，32(3)：345-350.
Wang Y J，Wang K J，Dong S T *et al*. Effects of nitrogen application on nitrate accumulation and yield of *Euchlaena mexicana*[J]. Acta Agron. Sin.，2006，32(3)：345-350.

[8] 王西娜，王朝辉，陈宝明，李生秀．不同品种菠菜叶柄和叶片的硝态氮含量及其与植株生长的关系[J]．植物营养与肥料学报，2005，11(5)：675-681.
Wang X N，Wang Z H，Chen B M，Li S X. Nitrate accumulation in petiole and blade of different spinach cultivars and its relation to plant growth[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2005，11(5)：675-681.

[9] 沈明珠，翟宝杰，东惠茹，李俊国．蔬菜硝酸盐累积的研究Ⅰ．不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]．园艺学报，1982，9(4)：41-48.
Shen M Z，Zhai B J，Dong H R，Li J G. Studies on nitrate accumulation in vegetable crops Ⅰ. Evaluation of nitrate and nitrite in different vegetables[J]. Acta Hort. Sin.，1982，9(4)：41-48.

[10] Rhykerd C L，Noller C H. The role of nitrogen in forage production[A]. The science of grassland agriculture (3rd Ed.)[M]. Ames，Iowa，USA：Iowa State University Press，1973. 416-424.

[11] 朱兆良，文启孝．中国土壤氮素[M]．南京：江苏科学技术出版社，1992. 278-281.
Zhu Z L，Wen Q X. China soil nitrogen[M]. Nanjing：Jiangsu Technology Press，1992. 278-281.

[12] Santamaria P，Elia A，Serio F. Fertilization strategies for lowering nitrate contents in leafy vegetable：chicory and rocket salad cases[J]. J. Plant Nutr.，1998，21(9)：1791-1803.