

施氮对半湿润农田夏玉米冠层氮素及叶绿素相对值 (SPAD 值)垂直分布的影响*

党蕊娟² 李世清^{1,2**} 穆晓慧² 李生秀²

- (1. 西北农林科技大学/中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100)

摘要 以半湿润地区土垫旱耕人为土为供试土壤,采用田间试验,研究了不同施氮水平下夏玉米(*Zea mays* L.)拔节期、灌浆期和成熟期3个生育期冠层叶片氮素、叶绿素相对值(SPAD值)的垂直分布规律及其差异;同时对各层叶片含氮量、SPAD值与施氮量进行相关分析。结果表明,在各生育期不同叶层叶片含氮量按上、中、下层顺序呈明显递减规律,从全生育期不同施氮处理看,上层比中层增加6.64%,中层比下层增加5.18%。随施氮量增加,中上层叶片含氮量差异增大,中下层叶片含氮量差异减小。冠层内叶片SPAD值垂直分布规律与叶片含氮量分布规律相类似。相关分析表明,全生育期各层叶片SPAD值与叶片含氮量呈极显著线性正相关关系($R=0.503^{**}$)。进一步分析发现,各层叶片SPAD值、叶片含氮量与施氮量的相关性以上层叶关系最为密切,揭示了夏玉米氮素营养诊断的较好叶片是上层叶位。

关键词 夏玉米 含氮量 叶绿素相对值 垂直分布

中图分类号: S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)01-0054-06

Effect of nitrogen on vertical distribution of canopy nitrogen and chlorophyll relative value (SPAD value) of summer maize in sub-humid areas

DANG Rui-Juan¹, LI Shi-Qing^{1,2}, MU Xiao-Hui², LI Sheng-Xiu²

- (1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau; Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University/Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;
2. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract A field experiment was carried out in sub-humid area using Eum Orthic Anthrosols as sample soil type. The experiment analyzed the vertical distribution pattern of canopy leaf nitrogen and leaf chlorophyll relative value (SPAD value), differences in different layer-leaves for different nitrogen levels in summer-maize (*Zeamays* L.) at three growth stages (jointing, grain filling and maturity) and correlation for layer-leaf nitrogen content, leaf SPAD value and applied N. The results show that different layer-leaves have different nitrogen content which obviously diminishes from the upper to middle, then the lower leaf canopy. Based on the average of different leaf layers for the entire growth stage, upper leaf layer is 6.64% higher than middle leaf layer, which in turn is 5.18% higher than the lower leaf layer. With increasing application of nitrogen, the difference between upper and middle leaf layers increases. However, the difference between middle and lower leaf layers decreases with increasing nitrogen application. The vertically changing trend of canopy leaf chlorophyll relative value is similar to that of nitrogen content of leaves. Correlation analysis indicates a significant ($R = 0.503^{**}$) linear correlation between chlorophyll relative value and leaf nitrogen content throughout the growth stage. Further analysis indicates that the upper leaf layer has the most closed correlation of leaf nitrogen content, chlorophyll relative value with applied nitrogen. So the best diagnosis of nitrogen nutrition for summer-maize is in the upper leaf layer.

Key words Summer-maize, Nitrogen content, Chlorophyll relative value, Vertical distribution

(Received Dec. 20, 2007; accepted Feb. 28, 2008)

* 国家自然科学基金项目(30571116 和 30670326)资助

** 通讯作者: 李世清(1963-), 男, 教授,主要从事土壤-植物氮素营养研究。E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

党蕊娟(1982-), 女, 在读硕士生, 主要研究方向为植物氮素营养生理生态。E-mail:dangruijuan115@163.com

收稿日期: 2007-12-20 接受日期: 2008-02-28

目前全世界玉米栽培面积已达 1.3 亿 hm^2 以上, 仅次于小麦和水稻, 是近年来发展最快作物之一。氮肥是决定作物产量的关键因素之一^[1,2], 在供氮不足的农田, 玉米产量随施氮量增加一般呈规律性提高^[3]。氮肥通过改变玉米某些生理特性而影响产量^[4], 氮素不足或过量均会加速玉米生及穗位下部叶绿素下降进程长后期叶面积指数, 进而加快叶片衰老^[5]。

由于氮素在植物体极易发生转运及冠层不同层次叶片含氮量存在明显差异^[6,7], 氮素吸收和分配一直是植物生理学等学科研究的热点^[8]。进一步研究施氮对半湿润农田夏玉米冠层氮素及叶绿素相对值垂直分布的影响, 明确夏玉米氮素营养诊断较好叶位, 对优化土壤-植物系统氮管理具有重要意义。研究表明, 小麦施氮后能显著提高花后的旗叶叶绿素含量和单叶光合速率, 提高小麦穗籽粒数和粒重^[9]; 在一定范围内, 玉米叶片叶绿素相对值和光合速率与叶片含氮量呈正相关, 氮素供应失调会导致光合能力下降^[10]; 合理供氮不仅显著影响玉米幼苗叶片叶绿素相对值、光合速率及叶绿素荧光特性等^[11], 且可改善叶肉细胞光合能力, 降低光合底物 CO_2 传输中的非气孔限制, 提高生育后期叶片光合强度和延长高光合持续期^[12]。对旱地作物, 合理施氮对提高叶片光合能力、抑制气孔蒸腾和增强作物抗旱性更具意义^[13]。

前人研究已证实冠层叶片氮素含量存在垂直梯度, Hirose 等早在 1987 年就发现并研究了冠层叶片氮素垂直分布规律^[14], 认为冠层氮素含量垂直梯度是作物冠层显著特点之一^[15], 证明大部分作物冠层氮素存在分布不均现象, 如小麦^[16]、大豆^[17]、棉花^[18]、向日葵^[19]等作物均表现为冠层叶片含氮量沿冠层从上向下递减^[1]。由于测定快速和简便, 叶片叶绿素相对值(SPAD 值)是实践中比较和评价作物氮素营养水平的重要指标。大量研究表明, SPAD 值与叶绿素含量呈高度正相关^[20], 也与叶片含氮量呈线性相关^[21], 因而 SPAD 值在冠层不同叶位也可能存在垂直分布性。

总之, 施氮对夏玉米不同生育期叶片光合作用及籽粒产量等方面的影响已进行了大量系统研究,

但对夏玉米叶片含氮量与 SPAD 值垂直分布, 以及二者间相关关系的研究较少。由于冠层不同叶层氮素含量及 SPAD 值存在差异, 本文通过田间试验, 研究 SPAD 值与叶片含氮量的分布规律以及二者间相关关系, 探讨施氮对半湿润农田夏玉米冠层氮素及叶 SPAD 值垂直分布的影响, 明确用不同叶层叶片进行氮素营养诊断的效果, 为选择更有代表性叶片进行夏玉米氮素营养诊断, 提高诊断准确性提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然条件

试验在西北农林科技大学土壤肥料试验站进行。该试验站处于黄土高原南部旱作区, 位于渭河三级阶地, 海拔 520 m 左右。本地区属大陆性季风气候, 年均降水量 630 mm 且分布不均, 主要集中在 7~9 月份, 冬春易旱, 年均气温 12.9 $^{\circ}\text{C}$, 年蒸发量 1 400 mm, 地下水深大于 60.0 m, 属半湿润易旱地区。作物轮作方式主要为冬小麦-夏玉米。供试土壤为土垫旱耕人为土, 其剖面层次大体可划分为耕层(0~20 cm)、粘化层(20~60 cm)和母质层(60~200 cm)。

1.2 田间试验设计

以中等肥力土垫旱耕人为土为供试土壤(表 1), 以玉米品种“陕单 902”为指示作物, 进行大田试验, 前茬为冬小麦。试验处理设在施磷的基础上每公顷施氮 0 kg、45 kg、90 kg、135 kg 和 180 kg(即 N_0 、 N_{45} 、 N_{90} 、 N_{135} 和 N_{180})5 个施氮水平, 3 次重复, 共 15 个小区(表 2), 小区面积 6 m^2 。氮肥为尿素(含 N 46%), 施 180 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ P_2O_5 。尿素和磷肥在玉米播种前一次性做种肥混施入 0~0.20 m 土层, 全生育期并未进行补充灌溉, 管理与一般大田相同。夏玉米于 2006 年 7 月 3 日播种, 2006 年 9 月 25 日收获, 全生育期 82 d。播种密度 41 667 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 株距 0.50 m, 行距 0.50 m。试验期间, 分别于 2007 年 8 月 1 日(拔节期)、9 月 11 日(灌浆期)、9 月 21 日(成熟期)进行采样及有关指标的测定。

表 1 供试土壤基本性状
Tab.1 Properties of the soil used in experiment

土层深度 Soil layer (cm)	有机质 Organic matter ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 Available P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
0~20	13.8	0.783	12.7	7.1	11.7
20~40	11.4	0.743	10.7	5.7	9.7
40~60	8.0	0.564	11.0	4.4	5.5
60~80	7.4	0.580	10.0	4.0	6.9
80~100	6.7	0.329	10.4	6.8	9.1

1.3 测定项目及方法

1.3.1 冠层垂直分层及取样

将夏玉米植株冠层叶片自顶部依次分为上层叶片、中层叶片和下层叶片等 3 层, 每层选取 1 片完全展开叶为代表叶, 在未离体测定叶绿素相对值后, 取样, 用以测定全氮。每小区测定 2 株, 包括田间试验重复在内, 共 6 次重复。

1.3.2 叶片全氮测定

采集各层叶片烘干粉碎后, $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮, 全自动凯氏定氮仪测定。

1.3.3 叶片叶绿素相对值测定

SPAD-502 叶绿素仪分别测定上层、中层和下层展开叶叶绿素相对值(SPAD 值)。

2 结果与分析

2.1 施氮对夏玉米冠层不同叶层叶片氮素含量垂直分布的影响

测定结果表明(表 2), 在夏玉米各生育期不同叶层叶片含氮量按上、中、下层顺序呈明显递减规律; 各叶层叶片含氮量均随生育期推进呈递减趋势。在生育前期的拔节期, 随施氮水平提高, 各层叶片含氮量相应增加, 特别是增大了中上层叶片含氮量间差异, 而中下层差异减小, 每公顷施氮 90 kg 时中下层差异仅为 1.28%。进入成熟期, 部分高施氮处理下层叶片含氮量甚至低于低施氮处理, 如 $N_{90-3} < N_{45-3}$,

说明在高量施氮条件下, 可能更有利于促进成熟期下层叶片氮素向上层或者穗部发生转移。过去研究证明, 在中量施氮条件下, 存在不同层次叶片间氮素营养竞争^[22]。本研究证明, 即使是在较充足施氮条件下, 不同叶层间也存在氮素营养竞争现象。

灌浆期不施氮处理(N_0 处理)上、中层叶片含氮量相差 11.62%, 中、下层叶片含氮量相差 3.53%; 高氮处理(N_{180} 处理)上、中层叶片含氮量相差 9.94%, 中、下层叶片含氮量相差 24.20%, 说明由于氮素的极易运转性, 在生育中后期随施氮量增加, 下层叶片氮素向上层组织特别是籽粒发生明显转移^[20], 从而使上、中层叶片含氮量梯度变小, 中、下层氮素含量梯度进一步加大。玉米成熟期中、下层叶片含氮量差异减少, 特别在施氮条件下, 减小幅度更大, N_{180} 处理含氮量相差 -4.61%, 进一步证明在作物生育后期, 施氮有利于延缓下层叶片衰老。从全生育期看, 随施氮量增加, 总体上加大了上、中层叶片含氮量差异, 减小了中、下层叶片含氮量差异, 尤其对 N_{135} 处理, 中、下层仅相差 1.77%。因此, 在实际中捕捉住中、下层叶片氮素胁迫状况, 可为合理施氮提供更有效信息。

2.2 施氮对夏玉米冠层 SPAD 值垂直分布的影响

冠层叶片 SPAD 值的垂直分布规律与含氮量分布规律基本相似(表 3), 叶片 SPAD 值整体规律表现为上层 > 中层 > 下层。除拔节期, 其余各时期冠层各

表 2 施氮对冠层不同叶层叶片含氮量垂直分布的影响

Tab.2 Effect of nitrogen application on vertical distribution of N content in different leaf layers

处理和叶层 Treatment and leaf layer	含氮量 N content ($g \cdot kg^{-1}$)				不同层次叶片含氮量差 Difference of N content between different leaf layers (%)				
	拔节期 Jointing	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth	叶层	拔节期 Jointing	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth
					Leaf layer				
$N_0-1^{1)}$	964.06	953.41	706.18	874.55					
N_0-2	938.14	854.13	690.82	827.70	1-2 ²⁾	2.76	11.62	2.22	5.66
N_0-3	888.00	824.98	591.53	768.17	2-3	5.65	3.53	16.78	7.75
N_{45-1}	1 186.68	1 029.91	893.70	1 036.77					
N_{45-2}	1 149.10	994.90	888.76	1 010.92	1-2	3.27	3.52	0.56	2.56
N_{45-3}	1 058.61	948.87	856.84	954.77	2-3	8.55	4.85	3.73	5.88
N_{90-1}	1 189.93	1 048.36	936.25	1 058.18					
N_{90-2}	1 122.08	1 003.61	875.67	1 000.46	1-2	6.05	4.46	6.92	5.77
N_{90-3}	1 107.95	994.92	816.31	973.06	2-3	1.28	0.87	7.27	2.82
N_{135-1}	1 192.69	1 171.61	935.26	1 099.85					
N_{135-2}	1 156.50	998.69	889.76	1 014.98	1-2	3.13	17.32	5.11	8.36
N_{135-3}	1 107.37	995.35	889.29	997.34	2-3	4.44	0.34	0.05	1.77
N_{180-1}	1 174.62	1 106.32	995.73	1 092.23					
N_{180-2}	1 092.41	1 006.32	857.00	985.24	1-2	7.53	9.94	16.19	10.86
N_{180-3}	1 035.55	810.25	898.44	914.75	2-3	5.49	24.20	-4.61	7.71

1) 1、2、3 分别表示上层、中层和下层叶片; 2) 1-2 表示上层叶片与中层叶片氮素差异; 2-3 表示中层叶片与下层叶片氮素差异。下同。

1) 1,2,3 signify the upper, middle and lower leaf respectively. 2) 1-2 means the difference of N content between upper leaf and middle leaf; 2-3 means the difference of N content between middle leaf and lower leaf. The same below.

表 3 施氮对冠层不同叶层叶片叶绿素相对含量垂直分布的影响
Tab.3 Effect of nitrogen application on vertical distribution of SPAD value in different leaf layers

处理和叶层 Treatment and leaf layer	叶绿素相对含量 SPAD value				不同层次叶片 SPAD 值差 Difference of SPAD value between different leaf layers (%)				
	拔节期	灌浆期	成熟期	全生育期	叶层	拔节期	灌浆期	成熟期	全生育期
	Jointing	Filling	Maturity	Whole growth	Leaf layer	Jointing	Filling	Maturity	Whole growth
N ₀ -1	47.35	42.13	41.48	43.66					
N ₀ -2	45.55	41.35	40.82	42.57	1-2	3.95	1.89	1.63	2.54
N ₀ -3	43.52	41.27	40.68	41.82	2-3	4.66	0.19	0.34	1.79
N ₄₅ -1	48.60	46.52	46.43	47.18					
N ₄₅ -2	46.89	46.29	46.30	46.49	1-2	3.65	0.49	0.29	1.49
N ₄₅ -3	45.86	45.30	46.07	45.74	2-3	2.25	2.19	0.50	1.64
N ₉₀ -1	49.35	49.83	47.23	48.80					
N ₉₀ -2	47.36	47.23	47.21	47.27	1-2	4.20	5.51	0.03	3.25
N ₉₀ -3	48.17	47.09	47.20	47.49	2-3	-1.67	0.30	0.02	-0.46
N ₁₃₅ -1	49.65	49.37	49.60	49.54					
N ₁₃₅ -2	48.24	48.25	49.59	48.69	1-2	2.92	2.31	0.02	1.74
N ₁₃₅ -3	48.17	48.23	48.55	48.32	2-3	0.15	0.04	2.14	0.78
N ₁₈₀ -1	50.33	49.05	48.28	49.22					
N ₁₈₀ -2	49.08	51.67	50.02	50.25	1-2	2.55	-5.06	-3.47	-2.05
N ₁₈₀ -3	49.33	54.42	52.00	51.92	2-3	-0.51	-5.05	-3.81	-3.20

叶层 SPAD 值均随施氮量增加而明显增加。总体上, 各时期上、中层与中、下层 SPAD 值之差均随施氮量增加而减小。特别在玉米生育后期, 即成熟期, 随施氮量增加, 各层差异更小, 在 N₁₈₀ 处理下各层差异出现负值; 全生育期平均看, 随施氮量增加, 上、中层差异由 2.54% 变化到 -2.05%, 中、下层差异由 1.79% 变化到 -3.20%。进一步说明在玉米生长中后期, 适量施氮有助于延缓作物下层叶片衰老^[21]。

2.3 叶片含氮量、叶绿素相对值与施氮量的相关性

2.3.1 叶片叶绿素相对值与含氮量的相关关系

叶片叶绿素相对值(SPAD 值)与含氮量的相关关系见图 1。图 1 表明, 不同叶层 SPAD 值与其相对应的含氮量(N)呈极显著线性相关(n=225), 其回归方程为 $SPAD=1.4N+33.56$ ($R=0.503^{**}$), 说明 SPAD 值能较好地反映叶片氮素营养水平。

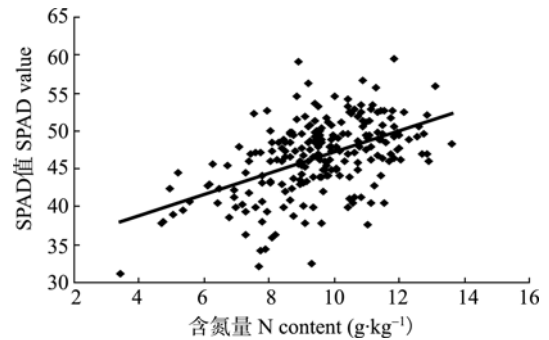


图 1 叶片含氮量与 SPAD 值的相关分析
Fig. 1 Regression analysis between leaf N content and SPAD value

不同层次叶片 SPAD 值与含氮量的相关性分析见表 4。除灌浆期下层叶片外, 其余各时期不同层次 SPAD 值均与叶片含氮量呈极显著正相关。全生育期上层叶片 SPAD 值与含氮量的相关性最好, 其次是中层, 下层较差。在灌浆期, 上、中层叶片 SPAD 值与叶片含氮量

表 4 不同叶层叶片叶绿素相对值与叶片含氮量的相关系数
Tab.4 Correlation coefficient between N content and SPAD value of leaf in different layers

叶层 Leaf layer	生育期 Growth stage			
	拔节期 Jointing	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth
上层 Upper	0.850**	0.865**	0.901**	0.960**
中层 Middle	0.874**	0.812**	0.839**	0.891**
下层 Lower	0.755**	0.142	0.804**	0.577

*表示显著相关, **表示极显著相关, 下同。* means correlation is significant at 0.05 level, ** means correlation is significant at 0.01 level. The same below.

均呈极显著相关性, 下层叶片 SPAD 值与叶片含氮量相关性未达显著水平。以上结果揭示, 在用 SPAD 值反映叶片氮素营养水平时, 以中、上层叶片较好。

2.3.2 叶片含氮量、SPAD 值与施氮量间的相关性

不同叶层叶片含氮量与施氮量间的相关性见表 5。从表 5 可知, 玉米拔节期与灌浆期, 施氮量与各层叶片含氮量相关性未达显著水平, 尤其是在灌浆期, 下层叶片含氮量与施氮量的相关系数仅为 0.030; 在成熟期, 施氮与上层叶片含氮量相关性达极显著水平($R=0.886$), 与下层叶片含氮量相关性虽然较好, 但未达显著水平。说明适量施氮对改善玉米成熟期上层叶片氮素营养水平具有重要意义。从全生育期

平均看, 施氮与玉米上层叶片含氮量相关性较好, 其次是中层叶片, 与下层叶片含氮量的相关性较差。

不同叶层叶片 SPAD 值与施氮量间的相关性见表 6。表 6 表明, 玉米拔节期, 施氮量与各层叶片 SPAD 值的相关性均达极显著水平; 灌浆期施氮量与中、下层 SPAD 值的相关性达显著水平, 与上层 SPAD 值未达显著水平; 成熟期施氮量与中、下层 SPAD 值间的相关性达显著或极显著水平, 与上层 SPAD 值相关性不显著, 说明施氮对于延缓中、下部叶片衰老具有重要意义。从全生育期平均看, 施氮量与上、中、下层 SPAD 值相关性均达显著水平, 与中、下层 SPAD 值相关性达极显著水平。

表 5 不同叶层叶片含氮量与施氮量的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between leaf N content of different layers and applied N

叶层 Leaf layer	生育期 Growth stage			
	拔节期 Jointing	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth
上层 Upper	0.679	0.861	0.886*	0.856
中层 Middle	0.559	0.741	0.623	0.637
下层 Lower	0.602	0.030	0.807	0.584

表 6 不同叶层叶片叶绿素相对值与施氮量的相关系数

Tab. 6 Correlation coefficient between leaf SPAD value of different layers and applied N

叶层 Leaf layer	生育期 Growth stage			
	拔节期 Jointing	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity	全生育期 Whole growth
上层 Upper	0.974**	0.824	0.855	0.879*
中层 Middle	0.990**	0.956*	0.930*	0.961**
下层 Lower	0.949**	0.964*	0.962**	0.975**

3 讨论

过去的研究表明, 作物对氮素的吸收和分配随生育期推进呈明显阶段性, 一般在抽穗前以吸收分配为主, 抽穗后以再分配为主^[22]。氮素在植株体内的转移不仅是作物生长的需要, 也是对外界环境的适应, 氮素在植株内各器官的最终分布是氮素分配和转运的综合结果。本研究表明, 随施氮量增加, 叶片含氮量和叶片 SPAD 值均随之增加, 这与前人研究结果相同^[23]。

本试验在相同施氮水平下, 玉米各叶层叶片含氮量及 SPAD 值均呈现为上层>中层>下层, 说明玉米冠层叶片 SPAD 值和含氮量的分布特征比较固定, 不同叶位叶片间的差异受施氮量影响较小, 施氮只是影响叶片 SPAD 值和含氮量绝对量大小。另一方面随施氮量增加, 上、中层叶片和中、下层叶片 SPAD 值及含氮量差异减小, 这与施氮满足了叶片, 尤其是下部叶片对氮素营养的需求, 从而适当减少

氮素向上部叶片转移有关, 也进一步支持了施氮有利于减缓叶片尤其是下部叶片衰老的观点。前人研究表明, 叶片 SPAD 值与含氮量呈线性正相关^[21], 本研究也同样证明, 各层叶片含氮量与 SPAD 值间均呈极显著相关, 并以上层叶片相关系数最高; 不同生育期不同叶层叶片含氮量、SPAD 值与施氮量关系密切程度不同, 从全生育期平均看, 施氮量与各层叶片含氮量均未达显著相关, 但与上层叶片含氮量关系相对最为密切; 施氮量与上、中、下层叶片 SPAD 值相关性均达显著水平, 与中、下层 SPAD 值相关性达极显著水平; 说明施氮对玉米中、下层叶片 SPAD 值的影响较大。总体比较各相关系数发现, 以上层叶片相关系数最好, 揭示了上层叶片更适宜于夏玉米各生育期氮素营养诊断。

4 结论

夏玉米各生育期不同叶层叶片含氮量按上、中、下层呈明显递减规律, 从全生育期不同施氮处理平

均看, 上层比中层高 6.64%, 中层比下层高 5.18%。各叶层叶片含氮量均随生育期推进呈递减趋势。随施氮水平增加, 各生育期各层叶片含氮量增加, 且中、上层叶片含氮量差异增大, 而中、下层叶片含氮量差异减小, 说明施氮能够有效延缓中、下层叶片衰老。

冠层内叶片 SPAD 值垂直分布规律与氮素含量分布规律相似, SPAD 值与各层叶片含氮量均呈显著正相关。上层 SPAD 值比中层平均高 1.39%, 中层 SPAD 值与下层无显著差异。

各生育期 SPAD 值与叶片含氮量呈显著线性相关($R=0.503^{**}$)。不同叶层 SPAD 值与其相对应含氮量均显著相关, 说明 SPAD 值可反映不同层次叶片氮素营养水平, 全生育期以上层叶片 SPAD 值与含氮量相关性最好。各层叶片 SPAD 值、叶片含氮量与施氮量间的相关分析同时表明, 上层叶片 SPAD 值及含氮量与施氮量关系最为密切, 说明上层叶片是夏玉米氮素营养诊断的较好叶片, 原因可能在于上层叶片氮素营养是从介质中吸收氮素与中、下部叶片氮素向上转移的综合表现。

参考文献

- [1] Tanaka A., Yamaguchi J., Miura S. Comparison of fertilizer nitrogen efficiency among field crops [J]. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1984, 30 (2): 199–208
- [2] 张效朴, 李伟波, 詹其后. 吉林黑土地上肥料用量对玉米产量及肥料利用率的影响[J]. *玉米科学*, 2000, 8 (2): 70–74
- [3] 陈国平, 尉德铭. 夏玉米的高产生育模式及其控制技术[J]. *中国农业科学*, 1986, 19 (1): 33–40
- [4] 曹翠玲, 李生秀. 氮素对植物某些生理生化过程影响的研究进展[J]. *西北农业大学学报*, 1999, 27(4): 96–101
- [5] 何萍, 金继运, 林葆. 氮肥用量对春玉米叶片衰老的影响及其机理研究[J]. *中国农业科学*, 1998, 31(3): 66–71
- [6] Charles-Edwards D. A., Stutzel H., Ferraris R., *et al.* Analysis of spatial variation in the nitrogen content of leaves from different horizons within a canopy [J]. *Annals of Botany*, 1987, 60: 421–426
- [7] Shiraiwa T., Sinclair T. R. Distribution of nitrogen among leaves in soybean canopies [J]. *Crop Sci.*, 1993, 33: 804–808
- [8] 肖凯, 张树华, 邹定辉, 等. 不同氮素营养对小麦光合特性的影响[J]. *作物学报*, 2000, 26(1): 53–58
- [9] 张秋英, 李发东, 刘孟雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 95–98
- [10] 关义新, 林葆, 凌碧莹. 光氮互作对玉米叶片光合色素及其荧光特性与能量转换的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(2): 152–158
- [11] 孙年喜, 宗学风, 王三根. 不同供氮水平对玉米光合特性的影响[J]. *西南农业大学学报*, 2005, 27(3): 389–392
- [12] Nziger M., Edmeades G. O., Lafitte R. H. Selection for drought tolerance increases maize yields across a range of nitrogen levels[J]. *Crop Sci.*, 1999, 39(4): 1035–1040
- [13] 刘桐华, 唐鸿寿, 余彦波. 小麦光合午休的成因及缓解措施的研究[J]. *生态学报*, 1987, 7(4): 314–320
- [14] Hirose T., Werger M. J. A. Maximising daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in a canopy[J]. *Oecologia*, 1987, 72: 520–526
- [15] Lotscher M., Stroh K., Schnyder H. Vertical leaf nitrogen distribution in relation to nitrogen status in grassland plants[J]. *Annals of Botany*, 2003, 92: 679–688
- [16] Dreccer M. F., Van Oijen M., Schapeendonk H. C. M., *et al.* Dynamics of vertical leaf nitrogen distribution in a vegetative wheat canopy impact on canopy photosynthesis[J]. *Annals of Botany*, 2000, 86: 821–831
- [17] Shirawa T., Sinclair T. R. Distribution of nitrogen among leaves in soybean canopies[J]. *Crop Sci.*, 1993, 33: 804–808
- [18] Milroy S. P., Bange M.P., Sadras V. O. Profiles of leaf nitrogen and light in reproductive canopies of cotton (*Gossypium hirsutum*)[J]. *Annals of Botany*, 2001, 87: 325–333
- [19] Rousseaux M. C., Hall A. J., Sanchez R. A. Light environment, nitrogen content and carbon balance of basal leaves of sunflower canopies[J]. *Crop Sci.*, 1999, 39: 1093–1100
- [20] Swiader J. M., Moore A. SPAD-chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins[J]. *Plant Nutri.*, 2002, 25(5): 1089–1100
- [21] Peng S., Garcia F. V., Laza R. C. Adjustments for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration[J]. *Agron. J.*, 1993, 85: 987–990
- [22] 庄恒扬, 曹卫星, 蒋思霞, 等. 作物氮素吸收和分配的动态模拟[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2004, 20(1): 5–8
- [23] 蔡国瑞, 张敏, 戴忠民, 等. 施氮水平对优质小麦旗叶光合特性和籽粒生长发育的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 49–55