

水、氮调控对夏玉米根系特性的影响

杜红霞¹, 冯浩², 吴普特², 王百群³

(1 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 国家节水灌溉杨凌工程技术中心, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用土柱模拟试验研究了水、氮调控措施对夏玉米根系生长状况及其与籽粒产量之间的关系。结果表明:水分对根干重、根系活力、根系表面积的影响较氮肥大;根干重随土层深度增加而减小,0~10 cm 土层尤为明显;0~20 cm 根系密度较高,根系密度随土层深度增加先减小后上升;根干重和根系密度随施氮量增加而降低,根冠比基本呈减小趋势;氮肥能提高玉米根系活力。根干重、根系密度、根表面积和根系活力与籽粒产量和玉米地上部分干物质质量均呈极显著相关关系;根冠比只与地上部分相关;根表面积和根系活力之间呈极显著相关关系;根系活力和根系吸氮能力对玉米生长和籽粒的形成有很重要的作用,存在显著正相关性。

关键词: 水;氮;根系;夏玉米;相关性

中图分类号: S152.7; S158.3; S513.01 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)01-0089-06

Influence of water and N fertilizer regulation on root growth characteristics of summer maize

DU Hong-xia¹, FENG Hao², WU Pu-te², WANG Bai-qun³

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

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

3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil column simulated experiment was carried out to study the influence of different adjustment measures of water and nitrogen on root growth characteristics of summer maize, and the correlation between root parameters and grain yield. The results showed that water affected more significantly dry weight, activity and surface area of root than N fertilizer. The dry weight of root decreased with the increase of soil depth, especially in 0~10 cm soil layer. The root length density was large in 0~20 cm soil layer, and it firstly increased and then decreased with the increase of soil depth. With the increasing of N application rate, the root dry weight and root length density decreased, while the ratio of root to shoot tended to decrease. N fertilizer could improve the root activity of maize. According to the correlation analysis, the root dry weight, root length density, root surface area and root activity were correlated very significantly with the grain yield and the dry matter mass above the ground; the ratio of root to shoot was correlated only with the dry matter mass above the ground; the root surface area was correlated very significantly with the root activity; the root activity and nitrogen absorption ability played an important role in the growth and grain formation of maize, and there was a significant correlation between them.

Keywords: water; N; root; summer maize; correlation

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]。根系对植株地上部的生命活动具有巨大的调节作用^[3]。根系是作物物质生产的基础,直接决定养分的吸收能力和抗倒伏能力^[4]。根系生长动态是反映

作物生长发育状况的一个重要标志^[5]。近年来关于根系的研究越来越被人们所重视。在研究根系生长发育规律的同时,不同水肥条件下根系活力与根系吸收面积的变化,以及这种变化对地上部生长的影响等方面也有很多研究报导^[6-9],但关于不同施氮

收稿日期:2012-03-28

基金项目:西安建筑科技大学人才科技基金(RC1009);十一五“863”计划重点项目课题(2006AA100204)

作者简介:杜红霞(1979—),女,宁夏吴忠人,讲师,主要从事水土资源高效利用与环境生态方面的研究。E-mail: duhongxia1016@163.com。

水平下,涉及根系生长与氮素供应、生物量和产量关系的研究较少^[10]。这限制了从更深层次认识植物的生长发育规律,影响了生产中优化栽培管理措施和提高作物对环境资源的利用效率^[11]。本文以玉米为供试作物,在遮雨棚下进行土柱模拟试验,研究水、氮供应对玉米根系生长及其生理特性的影响,并分析根系特性与作物生长指标之间的相关关系,有助于了解根系对水分、养分有效性的影响,为合理的水肥管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验在西北农林科技大学国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心节水试验站进行。供试作物为玉米,供试土壤为杨凌农田 0~40 cm 土层瘠土,其基本土壤养分状况为:有机质 $14.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.95\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $0.98\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $38.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $136.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土壤容重为 $1.25\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,田间持水量为 24.87%。

1.2 试验设计

试验设水分和氮肥两因素。水分设 3 个水平,按土壤相对含水量控制其上线分别为:50%,70%,90%,分别记为 W1,W2,W3。氮肥(用尿素)4 水平施用量(纯氮)分别为:0,0.15,0.25,0.35 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土,分别记为 N0,N1,N2,N3。试验共设 12 个处理,重复 9 次,同时设无植物对照不同水分 3 个处理(计算水分的非蒸腾散失及土壤蒸发量,进一步计算蒸腾耗水量),重复 3 次。

试验采用置于遮雨棚下土柱模拟的方法。土柱采用管高为 50 cm,口径 20 cm 的聚乙烯管材。将 PVC 管轴向对半劈开后用 PVC 胶粘好,再用 PVC 板将底部密封。土样进行分层填装,容重为 $1.25\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。土样在填装前统一风干。填装土柱时在底部放一层大小均匀的小碎石,在左右两边插入每隔 5 cm 两面打孔的直径为 1.0 cm PVC 小管用于灌水,用纱布包裹以防堵塞。每个土柱播种 3 株,出苗后留 1 株,且出苗后在土柱表层放置细小颗粒碎石,减少土表水分蒸发。以称重法监测土壤水分变化,每 3 d 称重一次,称重均在上午 8:00~11:00 时进行,土壤含水量低于设计含水量时用量筒向两边 PVC 小管中灌水至设计含水量。

1.3 样品采集与测定方法

植物样品采集分 3 个时期,分别于拔节期、灌浆期和收获期采集各地上部分植物样品。根系样品与植物样品同时采集。拔节期每处理中任选 3 个土

柱,先将土柱中玉米地上部剪下,然后将土柱对半劈开,每 10 cm 取出土样,共分 4 层,并分层采集根系样品。

根系参数:用 CI-400 根系图象分析系统(Image Analysis Software, CID, Inc. Vancouver, WA)测定总根长和根系表面积。根系活力:采用 TTC 法测定。株高用卷尺、茎粗用游标卡尺测定。地上部干物质量:在 105°C 杀青 30 min,之后 70°C 烘干至恒重并称干重。植物氮、磷、钾含量:浓 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 法消煮植物样品,用全自动凯氏定氮仪分析消解液中全氮含量,火焰光度计测定钾含量,钼锑钒比色法测定磷含量。

数据分析采用 EXCEL 和 DPS 分析软件,对各处理间的差异性进行方差分析和多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 水、氮调控对夏玉米根系干重的影响

2.1.1 水、氮调控对夏玉米拔节期根系干重剖面分布的影响 不同水、氮调控措施下夏玉米拔节期根系分布情况如表 1 所示。随土层深度增加,夏玉米各层根系干重呈减小趋势,0~10 cm 土层根系干重占总根重的比例较高,为 39.3%(W3N1)~56.3%(W2N3),30~40 cm 土层根干重所占比例最低。由表 1 还可知,根系生长量和土壤水分密切相关,不同土壤水分条件下各层中根干重存在显著差异($P < 0.05$),且根干重随土壤水分含量增加而呈迅速上升趋势,而与氮肥之间的关系与其不同。同一水分条件下,表层 0~10 cm 根干重随施氮量的增加而呈先增后减的趋势,除 W3N3 处理外各相同水分处理间均无显著差异,10~40 cm 土层中也有相似的规律,足见氮肥过量对根系增重作用减弱。从整个剖面的根系干重来看,各处理均与 W1N0 间的差异显著,且各水分水平间存在显著差异。同一水分条件下,总根干重随氮肥用量的变化与表层根干重规律一致,即先增后减。随着土壤水分达到适宜以上条件时,在土壤肥力较高情况下,根系可连续不断地吸收到大量水分和养分,较少的根系吸收的水分养分能满足整个植株生长发育的需要,因而根系生物量又有所减少。

2.1.2 水、氮调控对夏玉米生长期根系干重的影响

表 2 为水、氮调控对夏玉米各生长期根系生物量的影响。夏玉米根系干重随生长期的延续而呈先增后减的趋势,在灌浆期达到最大值,这与生长期内植株地上部生物量增长速度趋势一致。由表 2 还可看

出,根系生物量受土壤水分的影响比氮肥大,且不同水分条件的各组处理间在各生长期内根干重均存在显著差异。根系生长对施入土壤的 N 肥具有不同

程度的敏感性。W1 水分条件下成熟期根干重降幅最小。

表 1 不同水、氮调控下夏玉米单株根系干重分布/(g·株⁻¹)
Table 1 Distribution of root dry weight of summer maize in elongation stage/(g·plant⁻¹)

处理 Treatments	土层深度 Soil depth/cm				合计 Total
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	
W1N0	1.398 d	0.636 f	0.627 f	0.421 de	3.081 i
W1N1	1.787 d	0.883 f	0.759 f	0.648 d	4.077 hi
W1N2	1.872 d	1.444 cde	0.668 f	0.472 de	4.455 fgh
W1N3	1.870 d	1.439 de	0.697 f	0.321 e	4.326 gh
W2N0	2.790 bc	1.696 bed	0.829 ef	0.655 d	5.315 efg
W2N1	2.829 bc	1.667 bed	1.009 de	0.687 cd	6.192 de
W2N2	2.594 c	2.009 ab	1.160 cd	0.610 de	6.372 d
W2N3	3.029 bc	1.070 ef	0.859 ef	0.424 de	5.381 def
W3N0	4.111 a	1.980 abc	2.123 a	1.351 b	9.564 b
W3N1	4.213 a	2.348 a	2.202 a	1.959 a	10.721a
W3N2	4.017 a	1.928 abcd	1.741 b	1.428 b	9.114 b
W3N3	3.191 b	2.077 ab	1.357 c	0.963 c	7.586 c

注:同列数据后字母相同者表示差异不显著($P>0.05$),字母不同者表示差异显著($P<0.05$)。下同
Note: The same letters in the same column indicate no significant difference ($P>0.05$), and different letters indicate significant difference ($P<0.05$). Hereinafter the same.

表 2 水、氮调控措施对不同生长期夏玉米根干重的影响/(g·株⁻¹)
Table 2 Effect of water and N regulation on root dry weight of summer maize in different stages/(g·plant⁻¹)

处理 Treatments	拔节期 Elongation	灌浆期 Grouting	成熟期 Harvest	处理 Treatments	拔节期 Elongation	灌浆期 Grouting	成熟期 Harvest
W1N0	3.081 i	6.247 e	5.380 f	W2N2	6.372 d	13.094 b	8.966 bc
W1N1	4.077 hi	6.293 e	5.800 f	W2N3	5.381 def	10.069 d	8.119 cd
W1N2	4.455 fgh	6.494 e	5.381 f	W3N0	9.564 b	13.154 b	10.260 a
W1N3	4.326 gh	5.862 e	5.711 f	W3N1	10.721a	14.214 a	10.787 a
W2N0	5.315 efg	11.243 c	7.804 d	W3N2	9.114 b	11.446 c	9.289 b
W2N1	6.192 de	11.648 c	8.089 cd	W3N3	7.586 c	11.789 c	7.662 d

2.2 水、氮调控对夏玉米生长期根冠比的影响

根系生长空间和水肥供应影响着地上和地下部分的关系。不同水、氮调控对夏玉米根冠比的影响如图 1 所示。根系是作物感受土壤干旱的原初部位,水分胁迫时光合产物优先向根系转移,增加了根系生长量,提高了根冠比^[12]。本试验结果表明,随土壤水分含量的提高,玉米根冠比有减小趋势。W1 和 W2 水分条件下各处理差别不大,均高于 W3 水分水平的处理。

2.3 水、氮调控对夏玉米根系密度的影响

不同水、氮调控下 0~40 cm 土层中根系密度情况见表 3。由 2.1.1 中拔节期根系干重剖面分布分析结果可知,玉米根系主要集中于地表 20 cm,其根系密度表层亦较高。由表 3 可知,0~30 cm 玉米根

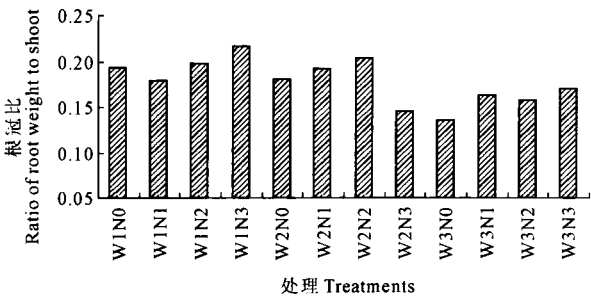


图 1 水、氮调控措施对夏玉米根冠比的影响
Fig.1 Effect on ratio of root weight to shoot weight of summer maize

系密度随土层深度的增加呈降低趋势,30~40 cm 又有所上升。玉米根系密度对水分的响应程度较其对氮肥大,随土壤水分条件的改善,各土层根系密度也迅速增加,3 种水分水平间相差较大,特别是促进了

下层土壤中根系的分配比例;同一水分条件下,各土层根系密度随氮肥用量的增加而呈先增加后减小趋势,且各处理均高于 W1N0 水平。说明不论是水和

氮肥调控都能显著促进作物根系的生长,增加其根系密度,增大其表面积,更好地吸收水分和养分。

表 3 不同水、氮调控下夏玉米 0~40 cm 土层根系密度/(cm·cm⁻³)
Table 3 Effective root length density in 0~40 cm soil layer under different treatments

处理 Treatments	土层深度 Soil depth/cm				处理 Treatments	土层深度 Soil depth/cm			
	0~10	10~20	20~30	30~40		0~10	10~20	20~30	30~40
W1N0	0.487	0.454	0.440	0.536	W2N2	1.183	1.146	1.033	1.903
W1N1	0.640	0.767	0.647	0.480	W2N3	1.145	1.053	0.890	1.044
W1N2	0.552	0.679	0.568	0.509	W3N0	1.545	1.262	1.092	2.782
W1N3	0.499	0.799	0.570	0.544	W3N1	1.399	1.270	1.202	3.265
W2N0	1.040	1.051	0.972	0.894	W3N2	1.686	1.303	0.978	2.510
W2N1	1.115	1.215	0.944	1.103	W3N3	1.507	0.913	0.898	2.067

2.4 水、氮调控对夏玉米根系活力的影响

水、氮调控下夏玉米根系活力测定结果见表 4。随着土壤水分含量提高,玉米根尖的活性逐渐增强,且各水分水平处理之间存在显著差异。W1 较 W2、W3 下根系 TTC 还原强度分别下降幅度为 119 (W2N3 处理)、226 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹ (W2N2 处理)和 240 (W3N3 处理)、356 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹ (W3N2 处理)。根系对 TTC 的还原,与根系呼吸密切相关。水分胁迫下根系总呼吸下降,可能使得根系活力下降。水分胁迫主要破坏了膜的功能,表现在根系活性有较大幅度下降;膜功能受到破坏,导致根细胞内代谢发生紊乱,致使根系还原 TTC 的能力下降^[17-18]。施氮处理较不施氮处理根系 TTC 还原强度高,且随着施氮量的增加其增幅在减小。氮素亏缺下根系活力的下降,可能是由于氮素缺乏时间较长,导致根系内

酶蛋白含量减少而引起的,同时缺氮也导致叶绿素含量下降,NR 活性下降,从而导致叶片光合能力下降,使分配到根系的光合产物相应减少,因而根系呼吸基质减少,最终使根系活力下降^[13]。W1 水分水平下不同施氮量增幅分别为:W1N1 (38 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹) > W1N3 (29 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹) > W1N2 (11 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹),W2 水分条件下 N3 水平处理与不施氮处理相持平,其他处理增幅分别为:W2N2 (84 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹) > W2N1 (44 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹),W3 水分条件下,N3 水平处理较对照减小了 63 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹,其他施氮处理根系 TTC 还原强度增幅分别为:W3N2 (35 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹) > W3N1 (29 TTC μg·g⁻¹·h⁻¹)。由此可以看出,随着氮肥施入量的增加,在水分条件较好的情况下对玉米根系活性的影响程度更大。

表 4 水、氮调控对夏玉米根系活力的影响
Table 4 Effect of water and N regulation on root activity of summer maize

处理 Treatments	根系活力 Root activity /(TTC μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	处理 Treatments	根系活力 Root activity /(TTC μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	处理 Treatments	根系活力 Root activity /(TTC μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
W1N0	224 ± 15.0 e	W2N0	378 ± 11.8 d	W3N0	556 ± 34.9 ab
W1N1	262 ± 30.9 e	W2N1	421 ± 18.8 cd	W3N1	585 ± 25.2 a
W1N2	235 ± 24.5 e	W2N2	462 ± 21.0 bcd	W3N2	591 ± 11.9 a
W1N3	253 ± 12.3 e	W2N3	373 ± 32.7 d	W3N3	493 ± 28.1 bc

2.5 水、氮调控对夏玉米 0~40 cm 根表面积的影响

水、氮调控下 0~40 cm 土层中根表面积变化规律见表 5。由表 5 可以看出,0~10 cm 土层中根表面积较大,占整个剖面根表面积的比例最高,达到 28.5%~36.85%。随着土层深度增加玉米根系表面积基本呈减小趋势,且 10~20 cm 较 20~40 cm 土

层下降程度大。土壤水分对根系表面积影响较大,两者成正相关关系,随水分水平的升高,根系表面积有很大幅度的增加。从表中可以看出,低水分(W1)条件下,根系表面积随土层深度的变化和其他两水分水平处理不一致,其在 20 cm 之后根系表面积又有上升趋势,这可能是由于水分胁迫后,玉米根系的自身调节机制所引起的反应,即其会向下寻觅更多

的水分和养分来满足玉米植株的生长,而 W2 和 W3 土壤水分条件能够为其生长提供适宜的水分条件。同一水分条件下,各土层根表面积随氮肥用量的增加而呈先增大后减小趋势,且各处理均高于 W1N0 水平。说明适量施入氮肥能促进玉米根系的生长,扩大其根表面积,有利于其对养分和水分的吸收。

2.6 籽粒产量、地上部干物质量与根系特性之间的关系

由籽粒产量和根系各指标之间相关分析(表 6)可以看出,上述根系参数中除根冠比和籽粒产量之间无显著相关性外,其它均与产量呈极显著相关关系,根系活力、根系表面积及根重对玉米产量的影响较根系密度大。地上干物质量和上述所有根系参数均有极显著相关关系。根干重和根冠比间不相关,其与根系表面积的相关系数最高,表明良好的根系发育能扩大根系对土壤中养分和水分的吸收面积;根冠比只与地上干物质量有极显著相关关系,由于水分胁迫能使根冠比增大,破坏了地上与地下生长量的平衡,进而影响到产量。根表面积和根系活力之间呈极显著相关,且相关系数达到了 0.95,说明

根表面积直接影响作物根系对养分和水分的吸收。所以在水分和养分的供给条件下,根系表面积较大,吸收作用强,作物的产量就相对较高。

表 5 不同水、氮调控下夏玉米 0~40 cm 土层根系表面积/cm²
Table 5 Root surface area of summer maize in 0~40 cm soil layer under different treatments

处理 Treatments	土层深度 Soil depth/cm				合计 Total
	0~10	10~20	20~30	30~40	
W1N0	539	338	472	544	1893
W1N1	616	429	436	417	1897
W1N2	579	391	421	413	1804
W1N3	559	347	322	327	1555
W2N0	1067	745	1101	797	3710
W2N1	1334	718	1039	744	3835
W2N2	1402	1095	829	795	4121
W2N3	1160	956	882	715	3713
W3N0	2021	1237	1093	794	5145
W3N1	1974	1263	1149	912	5298
W3N2	1606	1343	1059	918	4926
W3N3	1396	1204	951	850	4401

表 6 根系参数与籽粒产量之间的相关性
Table 6 Correlation between root parameters and grain yield

相关系数 Correlation coefficient	籽粒产量 Grain yield	干物质量 Accumulation of dry matter	根干重 Root dry weight	根冠比 R/S	根系密度 Root length density	根表面积 Root surface area	根系活力 Root activity
籽粒产量 Grain yield	1						
干物质量 Accumulation of dry matter	0.79**	1					
根干重 Root dry weight	0.87**	0.82**	1				
根冠比 R/S	0.00	-0.51**	0.01	1			
根系密度 Root length density	0.78**	0.69**	0.89**	0.1	1		
根表面积 Root surface area	0.87**	0.82**	0.91**	-0.07	0.89**	1	
根系活力 Root activity	0.88**	0.82**	0.85**	-0.14	0.76**	0.95**	1

植株地上部养分是通过根系的吸收来供给的,根系与其生长和养分累积之间有很密切关系。用 DPS 7.05 软件分析夏玉米籽粒产量(Y)与根系各参数和地上部养分累积量($X_i, i=1,2,3\cdots 15$)之间的相关性可知,根系表面积、根系活力、叶面积、茎粗、茎干重及株高与籽粒产量之间存在极显著相关($P<0.01$),根系密度、叶干重、氮磷累积量与籽粒产量之间存在显著相关($0.01<P<0.05$)。

以籽粒产量为因变量,玉米各生长指标为自变量进行逐步回归,建立回归方程如下:

$$Y = -78.547 - 21.493X_1 - 0.012X_2 + 0.247X_3 - 3.690X_4 + 4.159X_5 - 20.641X_6 + 0.007X_8 + 1.287X_{13} - 5.958X_{14} + 0.570X_{15}$$

式中, X_1 为根系密度; X_2 为根表面积; X_3 为根系活力; X_4 为根干重; X_5 为根系氮累积量; X_6 为根系磷累积量; X_7 为叶干重; X_8 为单株叶面积; X_9 为叶片氮累积量; X_{10} 为叶片磷累积量; X_{11} 为茎干重; X_{12} 为茎粗; X_{13} 为茎秆氮累积量; X_{14} 为茎秆磷累积量; X_{15} 为玉米株高。此回归方程 Durbin-Watson 统计量 $d=2.67150216$ 。通过逐步回归结果,筛选出通径分析指标并将其做通径分析如表 7。各变量直接作用排序为: $X_3>X_5>X_6>X_2>X_{13}>X_{15}>X_4>X_{14}>X_1>X_8$,其中 $X_1、X_2、X_4、X_6、X_{14}$ 均为负值。说明根系活力和根系吸氮能力对玉米生长和籽粒的形成有很重要的作用,且是正相关关系。 X_1 虽然直接作用很小,但它通过 $X_3、X_5$ 变量的间接作用较大,且为

正作用。 X_2 和 X_5 均通过 X_3 和 X_5 也起到正相关作用, X_6 对籽粒产量表现为较大的负作用, 通过 X_3 有较大的正作用。由剩余通径系数为 0.0055 可知, 以上各生长指标就能很好地表达对玉米产量的影响作用。

表 7 籽粒产量与玉米各生长指标的通径分析
Table 7 Path analysis on the relationship between grain yield and growth parameters of maize

因子 Factors	→ X_1	→ X_2	→ X_3	→ X_4	→ X_5	→ X_6	→ X_8	→ X_{13}	→ X_{14}	→ X_{15}
X_1	-0.255	-0.448	0.901	-0.341	0.638	-0.452	0.136	0.426	-0.282	0.372
X_2	-0.233	-0.492	1.020	-0.371	0.640	-0.447	0.168	0.453	-0.317	0.417
X_3	-0.220	-0.481	1.044	-0.329	0.574	-0.384	0.161	0.455	-0.309	0.399
X_4	-0.205	-0.429	0.808	-0.426	0.707	-0.541	0.151	0.361	-0.264	0.365
X_5	-0.212	-0.410	0.780	-0.392	0.768	-0.579	0.114	0.370	-0.238	0.340
X_6	-0.185	-0.352	0.642	-0.369	0.713	-0.624	0.088	0.325	-0.221	0.302
X_8	-0.177	-0.422	0.855	-0.327	0.445	-0.280	0.196	0.328	-0.251	0.377
X_{13}	-0.224	-0.458	0.977	-0.316	0.585	-0.417	0.132	0.486	-0.360	0.370
X_{14}	-0.183	-0.395	0.818	-0.285	0.463	-0.350	0.125	0.443	-0.395	0.329
X_{15}	-0.216	-0.467	0.949	-0.354	0.596	-0.430	0.169	0.410	-0.296	0.439

3 讨 论

根系生长状况是作物对水肥利用的主要因素, 其受到土壤水分和养分条件的直接影响。随土层深度增加, 夏玉米各层根系干重有减小趋势, 以 0 ~ 10 cm 土层尤为明显。根干重对氮肥的响应程度远小于其对水分响应程度。Sharne 等^[14]观察到, 干旱条件能促进根系伸长, 增加分枝次(级)数, 使得深层根相对增加, 从而更加充分地利用土壤水分。这是植物借以扩大水分和养分吸收面积的适应性机制。夏玉米根系干重随生长期的延续而呈先增加后有所下降的趋势, 灌浆期达到最大值, 这与生长期内玉米植株地上部生物量增长速度趋势一致。随土壤水分条件的改善, 根系干重随氮施入量的增加而降低, 这可能是由于养分条件的提高, 加快了植株地上部生长, 根系的生长相对变缓。随土壤水分条件的改善, 玉米根冠比有减小趋势, 这也许是植物对干旱的一种生存对策。

土壤水分和肥力状况对根系的生长和在土壤中的分布影响很大, 特别是土壤水分对深层根系的发育和配置比例有明显的影响^[7]。本试验结果表明, 0 ~ 30 cm 根系密度随土层深度增加呈减小趋势, 30 ~ 40 cm 又有所上升。随土壤水分条件的改善, 各土层根系密度也迅速增加, 特别是促进了下层土壤中根系的分配比例; 同一水分条件下, 随氮肥用量的增加而呈先增后减。

根系活力水平和根系表面积直接影响地上部的

生长和营养状况及籽粒产量。曹翠玲^[13]试验结果表明: 不论是水分、养分单独胁迫, 还是混合胁迫, 均使根系活力下降, 本试验亦有相同结果。本试验结果表明, 随土壤水分含量的提高, 玉米根冠比有减小趋势。W1 和 W2 水分条件下各处理差别不大, 且高于 W3 水分水平的处理。杜建军^[15]、Russel 等^[16]也有相同的研究结果。干旱胁迫能刺激根系的补偿功能, 吸收能力加强, 促进生长发育、新陈代谢, 使其具有受旱后较强的水分补偿能力^[17]。改善水肥条件是促进根系与地上部分均衡生长、获得高产的有力措施。

根系生长空间和水肥供应还影响着地上和地下部分的关系。健壮生长的植物依靠维持根系和茎叶生长与功能的平衡, 以免这一部分遭受另一部分基本物的供应不足而受到损害^[12], 为达到作物高产提供好的基础。由籽粒产量和根系各指标之间相关分析可知, 根干重、根系密度、根表面积和根系活力与籽粒产量和玉米地上部分干物质量均呈极显著相关关系。根冠比只与地上部干物质量相关。根表面积和根系活力之间呈极显著相关关系。根系活力强、吸收面积大, 都有利于根系吸收水分和养分, 因此根系活力和根系吸收面积常用来描述根系的吸收能力。适量氮肥有利于作物根系的生长, 提高根系活力和根系表面积, 促进作物吸收养分和水分。通径分析亦表明根系活力和根系吸氮能力对玉米生长和籽粒的形成有很重要的作用。

(下转第 100 页)

像采集光照强弱、图像分辨率等对预测结果有影响。

参考文献:

- [1] 张寄阳,段爱旺,孙景生,等.作物水分状况自动监测与诊断的研究进展[J].农业工程学报,2006,1(1):174-175.
- [2] 张伟,毛罕平,李萍萍,等.基于计算机图像处理技术的作物缺素判别的研究[J].计算机应用与软件,2004,2(2):51.
- [3] 张伟,毛罕平,李萍萍,等.缺素叶片图像颜色和纹型特征参数提取的研究[J].农机化研究,2003,4(2):60-61.
- [4] 穗波信雄.根据图像提取植物的生长信息[R].日本:农业机械学会关西支部,1989.
- [5] Blackmer T M, Schepers J S, Varvel G E, et al. Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields[J]. Agronomy Journal, 1996, 88(5):729-733.
- [6] 刘益新,郭依正.灰度直方图特征提取的 Matlab 实现[J].电脑知识与技术,2009,5(32).
- [7] 黄红霞,李萍萍,张迎春,等.从生理变化诊断作物缺水的方法[J].农机化研究,2004,9(5):101.
- [8] 吴富宁,杨子彪,朱虹,等.基于颜色特征进行农作物图像分类识别的应用研究综述[J].中国农业科技导报,2003,5(2):76-77.
- [9] 薄华,马缚龙,焦李成.图像纹理的灰度共生矩阵计算问题的分析[J].电子学报,2006,1(1):155-156.
- [10] 曹敏,马旭,姚亚利.图像处理技术在农作物营养信息检测中的研究展望[J].农机化研究,2005,9(5):5-6.
- [11] 郑丽颖,张敬涛,王谦玉.基于计算机视觉的作物营养诊断系统的关键技术研究现状[J].黑龙江农业科学,2009,(2):137-140.
- [12] 张伟.基于计算机图像处理的黄瓜缺素判别的研究[D].镇江:江苏大学,2003:33-34.
- [13] 郭德军,宋蛰存.基于灰度共生矩阵的纹理图像分类研究[J].林业机械与木工设备,2005,33(7):33-34.
- [14] 冯建辉,杨玉静.基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的研究[J].北京测绘,2007,(3):19-20.
- [15] 白雪冰,王克奇,王辉.基于灰度共生矩阵的木材纹理分类方法的研究[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(12):1668-1669.
- [16] 戴之祥.水稻及玉米植株含水率的可见光图像检测[D].合肥:安徽农业大学,2006.
- [17] Liao K, Paulsen M R, Reid J F. Real-time detection of color and surface defects of maize kernels using machine vision[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1994, 59(4):263-271.
- [18] Seginer I, Elster R T, Goodrum Jw, et al. Plant wilt detection by computer-Vision trackin of leaf tips[J]. Trans actions of the ASAE, 1992, 35(5):1563-1567.
- [19] SUO Xing-mei, JIANG Ying-tao, YANG Mei, et al. Artificial neural network to predict leaf population chlorophyll cotton plant Image[J]. Science Direct, 2010, 9(1):38-45.

(上接第 94 页)

参考文献:

- [1] 山仓.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, et al. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of china[J]. Agricultural Sciences in China, 2003,2(1):35-44.
- [3] 焦峰,吴金花,张兴梅,等.不同氮肥水平影响下的水稻根系吸氮率特性分析[J].土壤通报,2009,40(6):1353-1355.
- [4] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米的根系特征[J].作物学报,2011,37(4):735-743.
- [5] 廖荣伟,刘晶森,安顺清,等.基于微根管技术的玉米根系生长监测[J].农业工程学报,2010,26(10):156-161.
- [6] 苗果园,高志强,张云亭,等.水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究[J].作物学报,2002,28(4):445-450.
- [7] 刘庚山,郭安红,任三学,等.人工控制有限供水对冬小麦根系生长及土壤水分利用的影响[J].生态学报,2003,23(11):2342-2352.
- [8] 汪晓丽,陶玥玥,盛海君,等.硝态氮供应对小麦根系形态发育和氮吸收动力学的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):129-134.
- [9] Xue Q, Zhu Z, Musick J T, et al. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation[J]. Plant and Soil, 2003, 257(1):151-161.
- [10] Hirel B, Gouis J L, Ney B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. J. Exp. Bot., 2007,58:2369-2387.
- [11] 李春俭,彭云峰,牛君仿.土壤中的玉米根系生长及其研究应注意的问题[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):225-231.
- [12] 宋海星,李生秀.水、氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):6-11.
- [13] 曹翠玲,李生秀.水分胁迫和氮素有限亏缺对小麦拔节期某些生理特性的影响[J].土壤通报,2003,34(6):505-509.
- [14] Sharne B R, Chaudhary T N. wheat root growth, gain yield and water uptake as influenced by soil water regime and depth of nitrogen placement in a loamy sand soil[J]. Agriculture water management, 1983,6:365-373.
- [15] 杜建军,田青鸿,王朝辉,等.根系吸收养分水分的作用以及以肥促根的效应[C]//汪德水.旱地农田肥水关系原理与调控技术.北京:中国农业科技出版社,1995:106-109.
- [16] Russel R S. Plant Root System: Their Functions and Interaction with the Soils[M]. London: Mc Craw - Hill Book Company (UK) Ltd., 1977,166.
- [17] 袁惠慧,邓西平.生物节水中的补偿效应与根系调控研究[J].中国农业科技导报,2003,5(6):24-28.